

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO PARA  
PRÁCTICAS DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA  
INDUSTRIAL”**

Tesis para obtener el título de:

**Ingeniero en Electrónica**

Presenta:

**Kimberly Hernández Reyes**

Director de tesis:

**Dr. Fermín Hugo Ramírez Leyva**

Codirector de tesis:

**Dr. Álvaro Jesús Mendoza Jasso**

Huajuapán de León, Oaxaca, México, Noviembre, 2024.



# Dedicatoria

A mis padres.

Lilia, que con su constante apoyo y guía me ha encaminado a ser lo que hoy soy, le dedico este logro, por nunca dejarme sola.

Armando, que al compartir su visión de vida, me ha ayudado a enfrentar la vida sin miedos y ha inculcado en mí un espíritu aguerrido.

Ambos han sido mi fuerza en todo momento.



# Agradecimientos

Al Dr. Fermín Hugo Ramírez Leyva y al Dr. Álvaro Jesús Mendoza Jasso, que con su constante retroalimentación y apoyo, colaboraron en la realización de este trabajo.

Al Ing. Rafael A. García García y al Dr. Orantes Molina, que con sus consejos y observaciones, nutrieron el desarrollo del proyecto.

Al personal de los laboratorios y talleres de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, que orientaron en el desarrollo o participaron en la instalación física de este proyecto.

A mi hermano, por brindarme las herramientas necesarias para mi formación y apoyo incondicional.



# Acrónimos

CD	Corriente Directa
CA	Corriente Alterna
HP	Horse Power
PLC	Controlador Lógico Programable
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
VCC	Voltaje en Corriente Continua
IEM	Instituto de Electrónica y Mecatrónica
UTM	Universidad Tecnológica de la Mixteca
CCC	China Compulsory Certification
TDIPEyEI	Tablero Didáctico Interactivo para Prácticas de Electricidad y Electrónica Industrial



# Resumen

Este trabajo tiene como objetivo principal desarrollar un tablero didáctico interactivo para prácticas de electricidad y electrónica industrial, utilizando recursos existentes en la universidad. Se logró construir un equipo funcional y didáctico que permite a los estudiantes adquirir conocimientos prácticos de manera efectiva. Además, se desarrolló un conjunto de prácticas y materiales didácticos que guían a los estudiantes a través de un proceso de aprendizaje gradual a un costo mucho menor que los equipos comerciales.



# **Abstract**

The main objective of this work is to develop an interactive didactic board for industrial electricity and electronics practices, using existing resources at the university. A functional and didactic equipment was successfully built, allowing students to acquire practical knowledge effectively. Additionally, a set of practices and didactic materials were developed to guide students through a gradual learning process at a much lower cost than commercial equipment.



# Índice de contenido

Dedicatoria .....	2
Agradecimientos .....	4
Acrónimos .....	6
Resumen .....	8
Abstract .....	10
Índice de contenido .....	12
Índice de figuras .....	15
Índice de tablas .....	18
Capítulo 1 .....	20
Introducción .....	20
1.1 Introducción .....	20
1.2 Antecedentes .....	22
1.3 Planteamiento del problema .....	24
1.4 Justificación .....	25
1.5 Hipótesis .....	27
1.6 Objetivos .....	27
1.6.1 Objetivo General .....	27
1.6.2 Objetivos Específicos .....	27
1.7 Metas .....	28
1.8 Limitaciones y delimitaciones .....	29
1.8.1 Limitaciones .....	29
1.8.2 Delimitaciones .....	29
1.9 Metodología .....	30
1.9.1 Especificación del proyecto .....	31
1.9.2 Modelado y simulación .....	33
1.9.3 Prototipo físico .....	33
1.10 Organización de la tesis .....	34
Capítulo 2 .....	36
Marco teórico .....	36
2.1 Motores eléctricos .....	36
2.1.1 Motores de corriente directa .....	36

2.1.2 Motores de corriente alterna: síncronos y asíncronos .....	37
2.2 Control de motores .....	37
2.3 Diagramas de circuitos .....	38
2.3.1 Representación unifilar y multifilar .....	40
2.3.2 Representación desarrollada.....	41
2.3.3 Simulación de los diagramas de circuitos .....	42
2.4 Componentes básicos de un automatismo eléctrico .....	43
2.4.1. Interruptores .....	44
2.4.2. Botones pulsadores y lámparas piloto .....	48
2.4.3. Relevadores .....	49
2.4.4. Contactores.....	50
2.5 Métodos de arranque de motores .....	52
2.5.1 Arranque directo.....	52
2.5.2 Conexión estrella y delta .....	53
2.5.3 Arranque estrella-delta .....	55
2.5.4 Placa de datos de un motor trifásico.....	56
2.5.5 Corriente de arranque para motores trifásicos.....	59
2.6 Medidores de potencia .....	60
2.7 Normatividad en la construcción de tableros eléctricos .....	64
Capítulo 3 .....	66
Metodología.....	66
Diseño y desarrollo del tablero.....	66
3.1 Especificación del proyecto .....	66
3.1.1 Modelo funcional .....	66
3.1.2 Diseño conceptual .....	67
3.1.3 Detalles del diseño .....	68
3.2 Modelado y simulación .....	76
Modelado de módulos para lámparas e interruptores pulsadores.....	83
Modelado de las prácticas propuestas .....	86
3.3 Prototipo físico .....	87
3.3.1 Pruebas de componentes .....	88
3.3.2 Pruebas del sistema .....	88
Capítulo 4 .....	90
Resultados.....	90

4.1 Gabinete del TDIPEyEI .....	90
4.2 Prácticas del TDIPEyEI .....	94
4.3 Canal de YouTube con prácticas del TDIPEyEI.....	96
4.4 Trabajo futuro .....	99
Capítulo 5 .....	106
Conclusiones .....	106
Consideraciones adicionales .....	108
Bibliografía .....	110
Apéndice 1 .....	116
Apéndice 2 .....	118
Apéndice 3 .....	119
Apéndice 4 .....	120
Apéndice 5 .....	122
Apéndice 6 .....	123

# Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Tablero de pruebas. Fuente: Bio Pappel TITAN planta Guadalajara. ....	21
<b>Figura 2.</b> Tablero de pruebas. Fuente: Bio Pappel TITAN planta Guadalajara. ....	21
<b>Figura 3.</b> Tableros eléctricos industriales. Fuente: TECNOSIM S. A. ....	22
<b>Figura 4.</b> Tablero eléctrico. Fuente: Bio Pappel TITAN planta Guadalajara. ....	22
<b>Figura 5.</b> Tablero de pruebas de trabajo de grado para pruebas de máquinas eléctricas [3]. ....	23
<b>Figura 6.</b> Trabajo de grado para la medición de corriente alterna [4]. ....	23
<b>Figura 7.</b> Implementación de módulo arrancador [5] . ....	24
<b>Figura 8.</b> Laboratorio didáctico. Fuente: Festo Didactic Inc [6]. ....	24
<b>Figura 9.</b> Modelo V-Cuadrante [8]. ....	31
<b>Figura 10.</b> Metodología adaptada. ....	32
<b>Figura 11.</b> Caja de bornes de un motor trifásico. ....	38
<b>Figura 12.</b> Fases de desarrollo de un sistema automático. ....	39
<b>Figura 13.</b> Representación de diagrama unifilar y multifilar [13]. ....	40
<b>Figura 14.</b> Representación desarrollada. [13]. ....	40
<b>Figura 15.</b> Circuito de potencia y control para inversión de giro de un motor trifásico. ....	43
<b>Figura 16.</b> Simbología americana y europea. ....	44
<b>Figura 17.</b> Simbología de un contacto Normalmente Abierto y Normalmente Cerrado según la norma IEC 60617 [11]. ....	44
<b>Figura 18.</b> Interruptor pulsador normalmente abierto y normalmente cerrado [13]. ...	45
<b>Figura 19.</b> Interruptor Normalmente cerrado [16]. ....	45
<b>Figura 20.</b> Interruptor Normalmente abierto [16]. ....	46
<b>Figura 21.</b> Interruptor Normalmente abierto con Botonera Industrial. ....	46
<b>Figura 22.</b> Interruptor automático. Fuente: Siemens. ....	47
<b>Figura 23.</b> Símbolo de Interruptor automático tripolar. Fuente: CADeSIMU. ....	47
<b>Figura 24.</b> Interruptor de palanca. ....	47
<b>Figura 25.</b> Símbolo de interruptor de palanca. Fuente: CADe SIMU. ....	47
<b>Figura 26.</b> Botones y lámparas piloto. Cortesía de La casa de control y el gabinete. ....	48
<b>Figura 27.</b> Lámpara y piloto [13]. ....	48
<b>Figura 28.</b> Símbolo de botón de paro de emergencia [13]. ....	48
<b>Figura 29.</b> Símbolo de Relevadores temporizadores [13]. ....	49
<b>Figura 30.</b> Símbolo de relevador de sobrecarga. ....	49
<b>Figura 31.</b> Comportamiento de Relevadores de tiempo [18]. ....	50
<b>Figura 32.</b> Contactor. Cortesía de Schneider Electric. ....	51
<b>Figura 33.</b> Simbología del contactor. ....	51
<b>Figura 34.</b> Bloque de contacto auxiliar. Fuente: Siemens. ....	52

<b>Figura 35.</b> Símbolo de bloque de contactos auxiliares. Fuente: Siemens.....	52
<b>Figura 36.</b> Arranque directo de un motor (representación desarrollada) [13].....	54
<b>Figura 37.</b> Conexión estrella Delta de un motor de 6 puntas.....	54
<b>Figura 38.</b> Circuito de fuerza en control simulado en CAdE SIMU.....	56
<b>Figura 39.</b> Placa de datos de motor trifásico.....	57
<b>Figura 40.</b> Medidor de potencia Power Logic.....	61
<b>Figura 41.</b> Conexión de alimentación del sistema PM650.....	62
<b>Figura 42.</b> Vista frontal de la unidad e identificadores del medidor PM650.....	63
<b>Figura 43.</b> Componentes del visualizador del Power Meter.....	63
<b>Figura 44.</b> Diagrama de pruebas correspondientes [28].....	64
<b>Figura 45.</b> Diseño conceptual del proyecto.....	67
<b>Figura 46.</b> Gabinete Autosoportados Serie NEO. Fuente: Industrial Systems.....	77
<b>Figura 47.</b> Panel de montaje, grupo hidráulico y complementos. Fuente: SMS International Training.....	77
<b>Figura 48.</b> Primera versión de diseño. Fuente: del autor.....	77
<b>Figura 49.</b> Proceso de restauración de mueble.....	78
<b>Figura 50.</b> Proceso de restauración de mueble.....	78
<b>Figura 51.</b> Planos iniciales de las puertas.....	79
<b>Figura 52.</b> Maqueta a escala de las puertas.....	79
<b>Figura 53.</b> Plano de puertas desarrollado en SolidWorks.....	80
<b>Figura 54.</b> Lámina de fondo lisa metálica.....	81
<b>Figura 55.</b> Componentes en la lámina de fondo.....	81
<b>Figura 56.</b> Lámparas y botones con la base diseñada.....	84
<b>Figura 57.</b> Vista frontal de los módulos.....	84
<b>Figura 58.</b> Módulos montados en el riel.....	84
<b>Figura 59.</b> Adaptadores de montaje en riel DIN.....	84
<b>Figura 60.</b> Adaptador de montaje para riel DIN.....	84
<b>Figura 61.</b> Diseño de módulos para montaje de lámparas y pulsadores.....	84
<b>Figura 62.</b> Plano para módulos de montaje de lámparas y pulsadores.....	85
<b>Figura 63.</b> Metodología para desarrollo de módulos de montaje.....	85
<b>Figura 64.</b> Vista general del TDIPEyEI.....	88
<b>Figura 65.</b> Vista interior del TDIPEyEI.....	88
<b>Figura 66.</b> Diagrama de conexiones.....	89
<b>Figura 67.</b> Estructura general del TDIPEyEI.....	91
<b>Figura 68.</b> Estructura del TDIPEyEI, componentes y conexiones.....	91
<b>Figura 69.</b> Tablero desarrollado vs tableros de prueba en la industria.....	92
<b>Figura 70.</b> Medición de corriente con medidor PM650.....	93
<b>Figura 71.</b> Medición de corriente amperímetro de gancho.....	93
<b>Figura 72.</b> Medición de voltaje (L-N y L-L) con medidor PM650.....	94
<b>Figura 73.</b> Medición de voltaje con voltímetro (L-N).....	94

<b>Figura 74.</b> Estructura del manual de prácticas.....	96
<b>Figura 75.</b> Métricas en YouTube con corte al día 09 de septiembre de 2024.....	99

# Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Carreras y materias de impacto. ....	27
<b>Tabla 2.</b> Esquema de fuerza o potencia contra esquema de mando o control. ....	41
<b>Tabla 3.</b> Tipos de representación y características. ....	42
<b>Tabla 4.</b> Colores para botones pulsadores y lámparas piloto. ....	49
<b>Tabla 5.</b> Relaciones de línea y fase con conexión estrella.....	55
<b>Tabla 6.</b> Relaciones de línea y fase con conexión delta. ....	55
<b>Tabla 7.</b> Tabla de letras de código NEMA que indica los kVA/hp de arranque nominales de un motor [23]. ....	60
<b>Tabla 8.</b> Requerimientos funcionales y no funcionales.....	67
<b>Tabla 9.</b> Componentes y equipo disponible en la universidad. ....	72
<b>Tabla 10.</b> Componentes y equipo adquirido.....	76
<b>Tabla 11.</b> Cotización de construcción de panel con dos proveedores. ....	77
<b>Tabla 12.</b> Material utilizado para la construcción del mueble.....	83
<b>Tabla 13.</b> Formatos de guías de prácticas [31]. ....	87
<b>Tabla 14.</b> Estimación total en precio. ....	90
<b>Tabla 15.</b> Visualizaciones del material audiovisual por área geográfica en los últimos 28 días. ....	97
<b>Tabla 16.</b> Rango de edad del público que visualiza los videos. ....	98
<b>Tabla 17.</b> Sexo del espectador. ....	98



# Capítulo 1

---

## Introducción

### 1.1 Introducción

Hacer las cosas y probar si funcionan –casi nunca exactamente del modo esperado– es el método normal de trabajo, no solo en electrónica, sino en cualquier otra tecnología compleja [1].

La formación de estudiantes de Ingeniería se enfrenta al desafío de proporcionar experiencias prácticas que reflejen de manera real las situaciones y dispositivos presentes en la industria. El conocimiento es situado porque se genera y se recrea en determinada situación [2]. Los contextos de aprendizaje y enseñanza son los que otorgan facilidades o imponen restricciones al desarrollo de los aprendices.

Al inicio de la formación como ingenieros se usan herramientas destinadas a desarrollar la experimentación, particularmente, para la formación de ingenieros electrónicos y mecánicos se practica con una tarjeta de pruebas mejor conocida por su nombre en inglés, protoboard, o breadboard. Esta herramienta permite realizar pruebas de circuitos conformados por componentes electrónicos interconectados entre sí, antes de montar el circuito a una tarjeta de circuito impreso, donde la modificación de éste es prácticamente irreversible.

Un tablero para pruebas de ingeniería eléctrica y electrónica, al igual que un protoboard, es una herramienta que permite al usuario realizar conexiones temporales entre componentes electrónicos y eléctricos, sin embargo, un tablero para pruebas tiene un alcance más amplio. Los tableros de pruebas proporcionan un entorno seguro y organizado para realizar diversas pruebas eléctricas, verificar el funcionamiento de circuitos, depurar problemas y realizar mediciones.

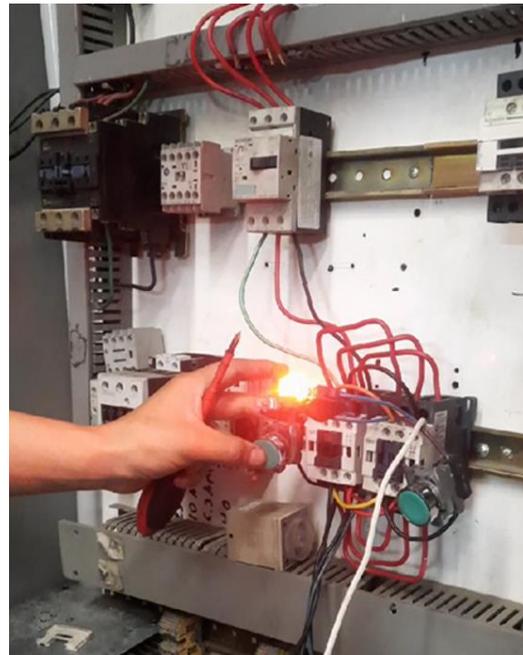
En la industria se utilizan tableros eléctricos de pruebas debido al rezago de componentes que son desinstalados por fallas difíciles de observar cuando estos están en operación, en la Figura 1 y Figura 2 se muestra el tablero de pruebas de Bio Pappel

TITAN planta Guadalajara, en él se realizan pruebas de circuitos o componentes para verificar su estado y se da capacitaciones a los miembros del equipo de mantenimiento eléctrico para que practiquen configuraciones de circuitos. Además de tableros de pruebas, en la industria la mayoría de los procesos automatizados están montados en tableros eléctricos, ver Figura 3 y Figura 4, en ellos se centra el funcionamiento del proceso de producción, estos suelen ser más grandes y complejos, sin embargo, comparten componentes, circuitos y dispositivos básicos.

En el 2023 se realizó una estancia profesional en la empresa Bio Pappel TITAN planta Guadalajara, en particular en el Equipo de mantenimiento Eléctrico, fue donde me di cuenta del desconocimiento que se tiene en este tipo de sistemas que son ampliamente utilizados en la industria, por lo cual es importante fortalecer ciertos aspectos relacionados con la electricidad y la electrónica industrial al presentar una visible desventaja competitiva en el campo laboral.



**Figura 1.** Tablero de pruebas. Fuente: Bio Pappel TITAN planta Guadalajara.



**Figura 2.** Tablero de pruebas. Fuente: Bio Pappel TITAN planta Guadalajara.



**Figura 3.** Tableros eléctricos industriales.  
Fuente: TECNOSIM S. A.



**Figura 4.** Tablero eléctrico.  
Fuente: Bio Pappel TITAN planta Guadalajara.

Por lo antes expuesto en este trabajo se plantea la elaboración de un Tablero Didáctico Interactivo para Prácticas de Electricidad y Electrónica Industrial (TDIPEyEI), en beneficio a los estudiantes de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), utilizando recursos que ya se tienen en la universidad y que han quedado en desuso, o algunos que nunca han sido usados por la falta de iniciativa o conocimiento de su existencia. Con él se espera que los estudiantes de la UTM conozcan y experimenten con los dispositivos, circuitos y procesos empleados en la industria, permitiéndoles no solo comprender los fundamentos teóricos, sino también experimentar y aplicar estos conocimientos en entornos similares a los que se enfrentarán en su vida profesional.

El diseño del TDIPEyEI se realizará con base en una revisión de la literatura especializada en el área de electricidad y electrónica industrial, así como en la experiencia práctica que se tuvo durante las estancias profesionales en Bio Pappel TITAN planta Guadalajara. El desarrollo del TDIPEyEI se espera que constituya un aporte significativo para la formación de estudiantes de Ingeniería en Electrónica, Mecatrónica, e Industrial, abriendo las puertas a una educación más cercana a las demandas del campo laboral y contribuyendo al cierre de la brecha entre la teoría académica y la práctica.

## 1.2 Antecedentes

Se hizo una revisión en Internet de los diferentes trabajos que se han desarrollado, relacionados a lo que se plantea en el trabajo y se encontró lo siguiente. En el año 2015

O. S. Hidrovo Enríquez y D. A. Recalde Juncal [3] realizaron un trabajo de grado para la obtención del título de Ingeniero en Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico llamado "Diseño e implementación de un tablero didáctico para pruebas en máquinas eléctricas rotativas en el laboratorio de la carrera de ingeniería en mantenimiento eléctrico" (Figura 5). Los autores antes mencionados diseñaron e implementaron un tablero didáctico para pruebas en máquinas eléctricas rotativas siendo un aporte para fortalecer los conocimientos teórico-prácticos, orientados al aprendizaje de estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico. Se plantearon objetivos como: investigar la fundamentación teórica, los diferentes tipos de pruebas eléctricas que se realizan en máquinas eléctricas rotativas y el diseño y construcción del tablero didáctico de pruebas.

En 2014, en la Universidad Nacional de Loja, Ecuador, C. A. Correo Rojas [4] realizó un proyecto (ver Figura 6) titulado "Diseño y construcción de un tablero didáctico para realizar prácticas de mediciones en corriente alterna", con la finalidad de contribuir al mejoramiento del proceso enseñanza aprendizaje de los alumnos del área, este tablero da la posibilidad de realizar conexiones o circuitos donde las magnitudes de corriente y tensión pueden ser medidas cuando se aplique corriente alterna.

En la Universidad Técnica del Norte, Ecuador, 2023, Jorge Javier Chasi Cuzco, realizó un proyecto de investigación (ver Figura 7) para obtener el título de Ingeniero Eléctrico, titulado "Implementación de un módulo arrancador suave mediante un sistema embebido para motores trifásicos de diferentes potencias en el laboratorio de control de la carrera de electricidad".



**Figura 5.** Tablero de pruebas de trabajo de grado para pruebas de máquinas eléctricas [3].



**Figura 6.** Trabajo de grado para la medición de corriente alterna [4].

En el 2023, J. Y. Chimbo Cevallos y L. R. Carasayo Shigui [5] realizaron un proyecto de investigación titulado "Implementación de un módulo para la automatización de procesos industriales para el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión la Maná, Ecuador" (Figura 7). El objetivo de esta investigación fue

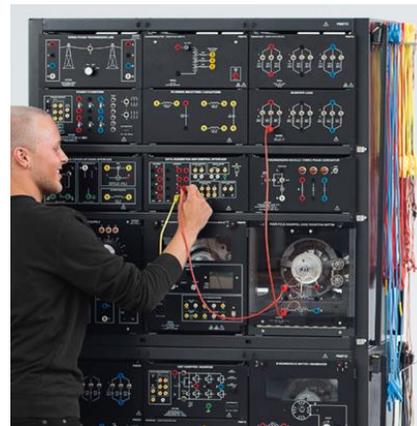
proporcionar a los estudiantes de ingeniería electromecánica un entorno de aprendizaje útil y eficaz, para practicar la automatización de procesos industriales. Para ello, utilizaron diversos componentes y tecnologías, incluyendo sensores, Arduino, PLC, luces piloto y transmisores de señal.

Existen empresas como Lab-Volt, que es una marca registrada centrada en el desarrollo de equipos de enseñanza y capacitación técnica en el campo de la Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automatización. Fue fundada en 1934 y adquirida por Festo Didactic en 2014. Festo Didactic es una división de Festo que se especializa en el desarrollo de equipos de aprendizaje y soluciones educativas para tecnología de automatización, mecatrónica y neumática, por lo que al adquirir a Lab-Volt se posiciona como una empresa que ofrece una gama más completa de equipos de laboratorio como se muestra en la Figura 8. En su página manifiestan lo siguiente:

“Los entornos estimulantes son fundamentales para facilitar la enseñanza y aprendizaje. La versatilidad es la clave, y es lo que hace que nuestros sistemas didácticos en tecnología de la energía eléctrica sean la columna vertebral de innumerables laboratorios en escuelas técnicas, colegios, universidades, centros de investigación y empresas de servicios públicos e industriales de todo el mundo, cada uno con sus particularidades [6]”.



**Figura 7.** Implementación de módulo arrancador [5].



**Figura 8.** Laboratorio didáctico.  
Fuente: Festo Didactic Inc [6].

### 1.3 Planteamiento del problema

El Instituto de Electrónica y Mecatrónica (IEM) y los Laboratorios avanzados de Electrónica, cuentan con material y equipo que podrían permitir a los estudiantes interactuar y forjar experiencias prácticas que reflejen con precisión los dispositivos, circuitos y sistemas utilizados en entornos industriales reales, sin embargo, éstos nunca habían sido utilizados por razones desconocidas. Esta subutilización de material y

equipo se traduce en una preparación limitada para afrontar los desafíos y las exigencias prácticas que encuentran al ingresar al campo laboral de la electrónica y electricidad industrial.

La necesidad de formar a los futuros profesionales de la electrónica con una base sólida y aplicable a situaciones reales se vuelve imperativa para su éxito en el campo laboral. Por lo tanto, el problema central radica en la falta de herramientas didácticas que faciliten la comprensión y la aplicación de los conceptos de electrónica y electricidad industrial en entornos similares a los de la industria, dentro del contexto universitario.

Es en este vacío educativo donde surge la necesidad de desarrollar un Tablero Didáctico Interactivo para Prácticas de Electricidad y Electrónica Industrial, aprovechando los recursos disponibles en la UTM, que simule y reproduzca las condiciones y dispositivos presentes en la industria, permitiendo a los estudiantes experimentar y comprender de manera práctica los principios teóricos de la electrónica y electricidad industrial.

El producto final comprende de un tablero de pruebas y un manual de prácticas. El tablero aborda temas fundamentales para el adentramiento de los estudiantes al área de la electrónica y electricidad industrial por medio de prácticas, documentadas en este trabajo de tesis, para su replicación, las cuales se enlistan a continuación:

1. Encendido simple de una lámpara con contactores.
2. Encendido con retención de una lámpara con contactores.
3. Encendido de dos lámparas con dos relés incompatibles pasando por paro.
4. Encendido de dos lámparas con dos relés incompatibles sin pasar por paro.
5. Encendido de una lámpara con retardo a la conexión.
6. Encendido/apagado cíclico de dos lámparas mutuamente excluyentes.
7. Encendido secuencial de tres lámparas.
8. Circuito de arranque directo de un motor.
9. Circuito Inversor de Giro en motor trifásico.
10. Sistema automático para el llenado de un tinaco.
11. Medición de variables eléctricas en sistemas trifásicos.

## **1.4 Justificación**

El desarrollo de un Tablero Didáctico Interactivo para Prácticas de Electricidad y Electrónica Industrial (TDIPEyEI), en el ámbito universitario, es fundamental para mejorar la comprensión de estas áreas a los estudiantes de la UTM que a continuación se mencionan.

La naturaleza cambiante y dinámica del campo de la electrónica y electricidad industrial, demanda profesionales altamente capacitados, con habilidades prácticas y comprensión profunda de los dispositivos y sistemas utilizados en entornos industriales reales. La falta de experiencias prácticas en el proceso de formación académica deja a los estudiantes en desventaja al ingresar al mercado laboral, donde se requiere una aplicación práctica inmediata de los conocimientos adquiridos.

Actualmente, y según los datos adquiridos por la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, los Ingenieros Electrónicos están distribuidos en diferentes industrias y sectores económicos, el campo laboral es altamente demandado. En el cuarto trimestre de 2023, la población ocupada fue mayor en Reparación y Mantenimiento de Equipo Electrónico y de Equipo de Precisión (25.6%) [7].

La realización de este proyecto se espera que contribuya significativamente al desarrollo de habilidades prácticas, resolución de problemas y toma de decisiones en el ámbito de la electrónica y electricidad industrial a los alumnos. Asimismo, esta herramienta educativa fomentará la motivación y el interés de los estudiantes, al ofrecer una experiencia de aprendizaje más interactiva y relevante para su futuro profesional. Lo cual se espera que mejore la formación y preparación de los estudiantes en el uso de equipo que utiliza y demanda el ambiente laboral, lo que hará que éstos aumenten su confianza para afrontar los desafíos reales de la industria electrónica y eléctrica.

Se visualiza que el presente proyecto sea utilizado por tres carreras en la UTM: Ingeniería en Electrónica, Ingeniería Industrial e Ingeniería en Mecatrónica. Las materias en las que se podría hacer uso del proyecto propuesto se muestran en la Tabla 1.

<b>Ingeniería en Electrónica (Plan 2008)</b>	<b>Ingeniería en Electrónica (Plan 2022)</b>	<b>Ingeniería Industrial (Plan 2021)</b>	<b>Ingeniería Mecatrónica (Plan 2013)</b>
Máquinas Eléctricas (7mo)	Circuitos eléctricos II (4to)	Electricidad Industrial (2do)	Circuitos eléctricos II (5to)
Electrónica de potencia II (9no)	Máquinas Eléctricas (7mo)	Electrónica Analógica (3ro)	Máquinas Eléctricas (7mo)
	Sistemas de Accionamiento Eléctrico (10mo)	Maquinaria y Equipo Industrial (6to)	Optativa III: Control de máquinas de CA

		Automatización para Ingeniería Industrial (10mo)	
--	--	--	--

**Tabla 1.** Carreras y materias de impacto.

Todas estas materias convergen en temas puntuales que pueden ser reforzados con la herramienta propuesta, como “Arranque de motores asíncronos”, “Sistemas de control y sus elementos básicos”, “Automatismos cableados”, “Control de motores eléctricos”, “Análisis de circuitos estrella y delta”, “Sistemas de accionamiento de corriente alterna”, “Interpretación de planos eléctricos”, “Cálculo de potencia de circuitos trifásicos”, entre otros.

## 1.5 Hipótesis

La implementación y utilización de un tablero didáctico en la enseñanza de la electrónica y electricidad industrial, al simular dispositivos, procesos y situaciones propias de estas disciplinas, proporcionará a los estudiantes una experiencia de aprendizaje más integral, práctica y efectiva, permitiéndoles mejorar la comprensión de los conceptos, desarrollar habilidades sólidas y prepararse para enfrentar desafíos laborales.

## 1.6 Objetivos

### 1.6.1 Objetivo General

Diseñar y construir un tablero didáctico de pruebas para la enseñanza de electrónica y electricidad industrial aprovechando los recursos disponibles en la UTM, que permita simular procesos industriales, con el fin de mejorar la formación práctica de los estudiantes.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un estudio de la literatura especializada en electrónica industrial, electricidad industrial y educación tecnológica para identificar los dispositivos, circuitos y procesos industriales más relevantes a ser simulados en el tablero didáctico.
2. Definir las características técnicas y funcionales del tablero didáctico interactivo, incluyendo la selección de componentes, circuitos y herramientas de simulación que serán implementados en su construcción.
3. Desarrollar el diseño conceptual y técnico del tablero didáctico interactivo, incluyendo la elaboración de planos, esquemas, especificaciones detalladas para la construcción del prototipo y elaborar un manual de prácticas.
4. Construir y ensamblar el tablero didáctico interactivo conforme a los diseños y especificaciones establecidos, integrando los dispositivos simulados y las herramientas interactivas necesarias para su funcionamiento.

## **1.7 Metas**

- 1.1 Recopilar un conjunto de artículos científicos, tesis, normas técnicas y libros relevantes en el campo de la electrónica y electricidad industrial.
  - 1.2. Analizar la literatura seleccionada para identificar las mejores prácticas en la enseñanza de la electrónica y electricidad industrial, estableciendo un marco conceptual sólido para el diseño del tablero didáctico.
  - 1.3. Verificar con qué dispositivos cuenta el Instituto de Electrónica y Mecatrónica (IEM) y los Laboratorios Avanzados de Electrónica para proponer las prácticas a realizar.
- 2.1. Definir las especificaciones técnicas y los requisitos de funcionamiento del tablero didáctico interactivo, considerando la facilidad de uso y la robustez para entornos educativos.
  - 2.2. Identificar qué componentes y herramientas se adaptan mejor a los objetivos educativos del tablero didáctico.
  - 2.3. Realizar pruebas con diferentes herramientas de simulación, así como con componentes electrónicos y eléctricos para evaluar su adaptabilidad a los propósitos educativos del tablero didáctico.
- 3.1. Diseñar un esquema conceptual detallado del tablero didáctico interactivo, que incluya la disposición de los componentes y la estructura física.

3.2. Elaborar planos técnicos y diagramas de circuito para cada una de las prácticas y dispositivos simulados del tablero didáctico, especificando las conexiones eléctricas, los valores de los componentes y cualquier consideración de seguridad o normativa relevante.

3.3. Definir un cronograma detallado para la construcción del prototipo del tablero didáctico interactivo.

3.4. Realizar un manual de prácticas seleccionadas y desarrolladas a detalle.

4.1. Adquirir los materiales y componentes necesarios para la construcción del tablero didáctico interactivo.

4.2. Ensamblar los módulos y dispositivos del tablero didáctico de acuerdo con los planos técnicos y diagramas de circuito elaborados en la fase de diseño.

4.3. Realizar pruebas de funcionamiento, verificando la coherencia de las simulaciones, realizando ajustes o correcciones según sea necesario para optimizar su rendimiento.

## 1.8 Limitaciones y delimitaciones

### 1.8.1 Limitaciones

**Financiamiento:** A pesar de que se utilizarán muchos de los recursos existentes en los laboratorios y el IEM se requieren más componentes para hacer un tablero completo, por ello la disponibilidad de recursos financieros se considera una limitación.

**Disponibilidad de espacio:** El proyecto requiere de un laboratorio físico para la instalación del tablero, además de las instalaciones eléctricas necesarias para el correcto funcionamiento de este.

**Compatibilidad tecnológica:** Si se utilizan diversas tecnologías y componentes en el diseño del tablero, la compatibilidad entre ellos podría presentar desafíos.

### 1.8.2 Delimitaciones

**Alcance de dispositivos y procesos Industriales:** La simulación en el tablero didáctico interactivo contemplará los dispositivos y procesos industriales

seleccionados con base en la viabilidad y relevancia educativa. No se abordarán todos los aspectos de la electrónica industrial debido a restricciones de tiempo y recursos.

**Niveles de complejidad:** La complejidad de los circuitos y sistemas a simular estará limitada por la capacidad técnica y financiera del proyecto. Circuitos extremadamente complejos o situaciones industriales altamente especializadas podrían estar fuera del alcance de este trabajo.

**Aspectos legales y de normas de seguridad:** Se busca proporcionar un entorno seguro para la experimentación, sin embargo, las implicaciones legales no son el enfoque principal de este proyecto, por ello se advierte que el proyecto no se acatará por completo a las implicaciones legales y de seguridad específicas a nivel industrial.

**Actualización y mantenimiento continuo:** Las estrategias y costos asociados con la actualización y mantenimiento continuo del tablero interactivo no serán el foco principal de este proyecto y podrían requerir consideraciones adicionales para su implementación a largo plazo.

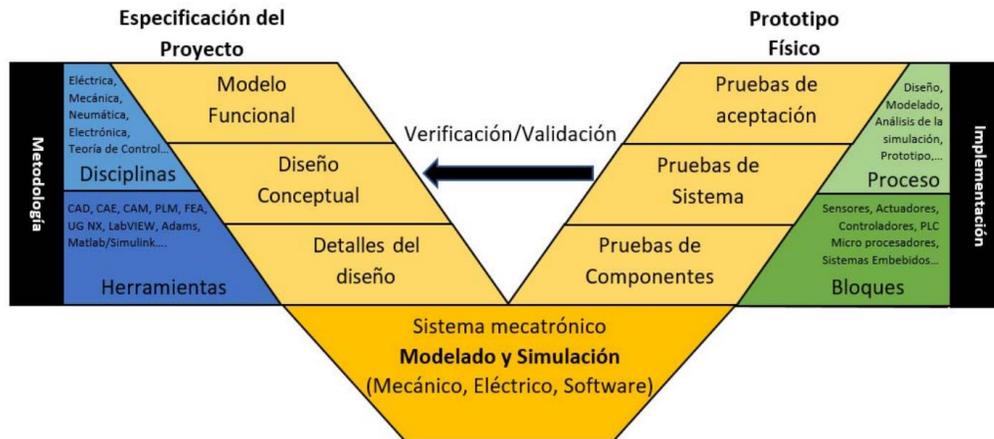
**Tiempo:** La planificación y ejecución del diseño y construcción del tablero, así como la realización de pruebas y ajustes, pueden requerir más tiempo del inicialmente previsto, sin embargo, se plantea que el proyecto se desarrolle en un tiempo aproximado de siete meses.

## 1.9 Metodología

El proyecto se lleva a cabo siguiendo una metodología V-Cuadrante [8], ésta fue propuesta en el 2019 por Daniela Oralia Rocha Morelos, Camilo Morales Corral, Israel Soto Marrufo, Vianey Torres-Arguelles e Ivón Oristela Benítez González.

La metodología V-Cuadrante surge como una combinación de metodologías tomando en cuenta la necesidad de integración de conocimientos y sistemas para los diferentes procesos de desarrollo y aplicación, enfocada a los sistemas de control.

En este modelo existen tres secciones principales (ver Figura 9), las cuales se llevan a cabo basados en el sentido que presentan: 1) Especificación del proyecto; 2) Modelado y simulación, y 3) Prototipo físico [8].



**Figura 9.** Modelo V-Cuadrante [8].

La metodología propuesta para el desarrollo de este proyecto se enfoca en el análisis, especificación, diseño y pruebas del proyecto. A continuación, se describen las capas de la metodología:

### 1.9.1 Especificación del proyecto

La especificación del proyecto constituye un componente fundamental en el proceso de planificación y ejecución de este, ya que sienta las bases para comprender y documentar los requisitos y objetivos clave. En esta sección, se abordan los pasos necesarios para definir con precisión el alcance, identificar los requisitos y asegurar la comprensión y aceptación de todas las partes interesadas.

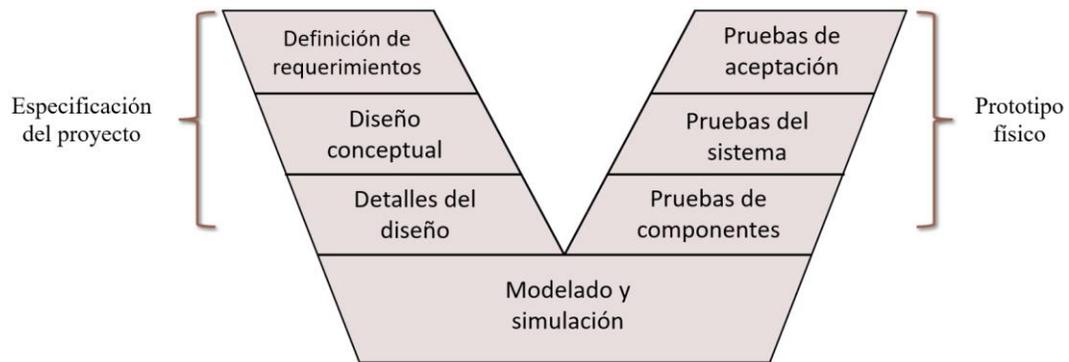
#### 1.9.1.1 Modelo funcional

“Especifica lo que sucede, cuando sucede y que actividades suceden, definiendo las operaciones y actividades que debe o no debe cumplir el proyecto, analiza las características que debe tener el sistema y posteriormente establece los modelos matemáticos, parámetros y actividades que debe cumplir” [8].

Al no requerirse un modelo matemático para el desarrollo del proyecto esta fase, se renombra a “Definición de requerimientos” y se delimita únicamente a definir los requerimientos funcionales y no funcionales del proyecto, esto implica comprender las

necesidades de los usuarios, las expectativas de las partes interesadas, las limitaciones y delimitaciones del entorno en el que se ejecutará el proyecto.

Por lo tanto, haciendo esta adaptación de la metodología V-Cuadrante, la metodología final a seguir es la que se muestra en **Figura 10**. Las fases posteriores a la definición de requerimientos se realizan como lo indican los autores de la metodología V-Cuadrante original.



**Figura 10.** Metodología adaptada.

El planteamiento de los requerimientos está ligado a las limitaciones y delimitaciones detalladas en la sección anterior.

### 1.9.1.2 Diseño conceptual

En el diseño conceptual, se establece una visión general del sistema o aplicación que se va a crear. Se trata de una fase crucial donde se definen los aspectos fundamentales del proyecto, sentando las bases para las etapas de diseño e implementación.

### 1.9.1.3 Detalles del diseño

En la etapa de Detalles del diseño, se profundiza en la definición de las características técnicas y funcionales del sistema o aplicación que se está creando. Esta etapa crucial se encarga de transformar las ideas y conceptos generales establecidos en el diseño conceptual en especificaciones técnicas precisas y documentadas. Se describen en detalle los componentes del sistema, incluyendo sus características técnicas y se define una propuesta del diseño del tablero. Así mismo, se definen las prácticas que se podrán realizar en el tablero de prácticas y donde estará ubicado el mismo, los componentes contemplados y como fueron seleccionados si así fuera.

## **1.9.2 Modelado y simulación**

En esta sección se definen las técnicas y software a utilizar para el modelado y simulación del proyecto, basado en los requerimientos funcionales previstos.

En esta etapa se propondrá el diseño físico del tablero, basándose en las especificaciones técnicas del mismo y el número de componentes a utilizar. Primero se realiza una idea en papel para aterrizar la idea de diseño, posteriormente se recurre a un software de simulación para hacer un diseño digital y más formal. También se realizan las simulaciones de las prácticas definidas, así como el manual de prácticas para la realización de estas, el cual será parte del producto final a entregar.

Para el manual de prácticas se define un formato evaluando la factibilidad de diversos formatos de guías de prácticas. Se definen algunos otros criterios que el manual de prácticas puede contener como: Listas de verificación (Permiten al usuario verificar que se han completado todos los pasos del procedimiento), Glosarios de términos (Definen términos técnicos o especializados que se utilizan en la guía), Preguntas frecuentes (Responden a preguntas comunes que los usuarios pueden tener sobre el procedimiento) y Recursos adicionales (Proporcionan enlaces a información adicional relacionada con el procedimiento).

## **1.9.3 Prototipo físico**

### **1.9.3.1 Pruebas de componentes**

Antes de hacer pruebas físicas de las prácticas se hacen pruebas de cada uno de los dispositivos y equipo disponible, en esta fase se verifica el óptimo funcionamiento de estos.

Entre las etapas de pruebas de componentes y pruebas del sistema se realizan las pruebas físicas de las prácticas propuestas, guiándose del manual de prácticas realizado en la fase anterior, además se hace la construcción del tablero basándose en las especificaciones planteadas en la primera fase de la metodología.

Una vez concluido el diseño, continúa la implementación física del tablero eléctrico. En esta etapa se montan los componentes en el tablero de pruebas de acuerdo con el

diseño previamente realizado, se realizan las conexiones eléctricas entre los componentes utilizando cables y conectores adecuados y se verifica que todas las conexiones sean correctas y seguras. Se elabora la documentación técnica del tablero eléctrico, incluyendo diagramas eléctricos, esquemas de conexión, y manuales.

El seguimiento de las normas industriales y de instalación eléctricas no son el foco principal de este proyecto, sin embargo, se busca que el tablero sí brinde al usuario un entorno seguro, por ello el prototipo seguirá las normas más básicas para instalación de tableros eléctricos como la norma IEC 61010 para equipos eléctricos de medición, control y laboratorio.

### **1.9.3.2 Pruebas del sistema**

En esta sección se realizan las pruebas finales del sistema, se hacen correcciones en el manual de prácticas, y se plantean consideraciones para el usuario si fuera necesario.

### **1.9.3.3 Pruebas de aceptación**

Esta última fase no se lleva a cabo formalmente, sin embargo, sí se planean hacer pruebas con alumnos aleatorios para verificar que el manual de prácticas sea comprensible y hacer correcciones si fuera necesario.

## **1.10 Organización de la tesis**

El presente trabajo de tesis se encuentra organizado en cinco capítulos:

El Capítulo 1 presenta una introducción a la problemática tratada en el trabajo de tesis, el planteamiento para la resolución del problema, los objetivos a cubrir y la metodología para el desarrollo del proyecto. Además, presenta el estado del arte sobre los trabajos relacionados con propuestas similares.

El Capítulo 2 presenta el marco teórico con una revisión sobre las tecnologías y dispositivos utilizados en la industria y temas relevantes para el desarrollo de este proyecto.

El Capítulo 3 muestra el diseño y desarrollo del tablero de prácticas siguiendo las fases de la metodología seleccionada.

El Capítulo 4 plantean los resultados y se discuten.

En el Capítulo 5 se abordan las conclusiones del presente trabajo de tesis y consideraciones adicionales. Por último, se presentarán las referencias bibliográficas, apéndices referentes el manual de prácticas, a los dispositivos utilizados y especificaciones adicionales.

# Capítulo 2

---

## Marco teórico

Un tablero para prácticas de electricidad y electrónica requiere de diferentes componentes como son un gabinete, sistemas de montaje, botones pulsadores, lámparas piloto, contactores, protecciones, motores eléctricos e instrumentos de medición. Por lo cual en este capítulo se describe cada uno de ellos.

### 2.1 Motores eléctricos

La finalidad de los motores eléctricos es convertir la energía eléctrica, en forma de corriente continua (CD) o alterna (CA), en energía mecánica apta para mover los accionamientos de todo tipo de máquina [9]. Los motores eléctricos se clasifican en motores de CA y CD.

Los motores eléctricos están conformados por dos partes principales, un estator y un rotor. En el estator se encuentra la capacidad magnética del motor, este genera un campo magnético con el que las fuerzas de atracción y repulsión producen el movimiento del rotor.

#### 2.1.1 Motores de corriente directa

Los motores de Corriente Directa presentan la ventaja de tener una gran capacidad para regular su velocidad de rotación, lo cual los hace necesarios en aplicaciones en las cuales se precisa un ajuste fino de la velocidad y torque [9]. Sin embargo, los motores de CD necesitan una alimentación diferente a la que se suministra en la industria, por ello utilizan equipos adicionales como son los rectificadores de potencia, con los que la corriente alterna es convertida a directa; en algunas aplicaciones se utiliza baterías de reserva para su activación, lo que incrementa los costos del mismo motor y la instalación complementaria [9].

La mayoría de las aplicaciones industriales, que requieren de un motor eléctrico, utilizan motores de CA, debido a que los motores de CD precisan un mantenimiento mayor y son menos eficientes energéticamente. Los motores de CD han sido paulatinamente reemplazados por motores de CA.

### **2.1.2 Motores de corriente alterna: síncronos y asíncronos**

Los motores de CA son los más empleados en la industria, dada la gran ventaja de funcionar con la forma de corriente que suministran las empresas eléctricas, es decir, no requieren convertir la corriente alterna a corriente directa, por tanto, su operación es de menor costo [9].

Los motores de CA se clasifican en síncronos y asíncronos. En los síncronos el eje gira a la misma velocidad que el campo magnético, en los asíncronos el eje se revoluciona a una velocidad poco menor a la del campo magnético.

Los motores síncronos sustituyen a los motores asíncronos solamente en aplicaciones que requieren características especiales, por ejemplo, aplicaciones donde se requiere una velocidad variable, un alto factor de potencia o un control preciso de la velocidad. El uso en grandes industrias se presenta en: bombas, grúas, elevadores, molinos, mezcladoras, trituradoras. En la pequeña y mediana empresa son prácticamente innecesarios [9]. Por lo cual en este trabajo cuando se refiera a motores de CA se van a tratar de motores asíncronos, conocidos también como de inducción o jaula de ardilla.

## **2.2 Control de motores**

Según la Corporación Multinacional Tecnológica Sueco-Suiza ABB, un 45% de la electricidad consumida en el planeta se usa para accionar motores industriales o en edificios [10]. El impacto que tiene el uso de motores eléctricos en la industria actual es altamente significativo.

En todas las instalaciones eléctricas industriales, en donde hay motores eléctricos, la instalación eléctrica que requieren, además de la energía, requiere de medios de conexión y desconexión y su control, los cuales se seleccionan en función de la aplicación específica para la cual van a ser utilizados [11].

El concepto de control de motores eléctricos, a nivel industrial, comprende todos los métodos usados para el control del comportamiento de un sistema eléctrico. Además,

hablando de este concepto se pueden abordar temas relacionados al estudio de los dispositivos eléctricos que intervienen para cumplir con las funciones deseadas en las instalaciones industriales.

El proceso más simple de control de motores eléctricos, en la industria, es el arranque y paro. Este proceso se lleva a cabo por un circuito de control simple para arrancar y parar un motor, sin embargo, también existen configuraciones adicionales para arrancar el motor de forma remota, a pasos o invirtiendo su sentido de rotación, o bien controlarlo por medio de señales adquiridas de otros elementos como sensores de temperatura, presión, o cualquier otro cambio físico que sea de utilidad. Esto evidentemente requiere un mayor grado de complejidad al circuito de control.

Cualquier motor trifásico cuenta con una caja de bornes de conexión como se muestra en la Figura 11. Hay cajas desde 6 hasta 12 bornes, cada par de bornes representa una bobina interna, en la caja de bornes es donde se conectan los cables eléctricos que dan energía y controlan al motor. El motor de la figura 10 cuenta con 3 bobinas y cada bobina tiene dos bornes de conexión. En la industria la mayoría de los tableros están asociados a controlar este tipo de motores.

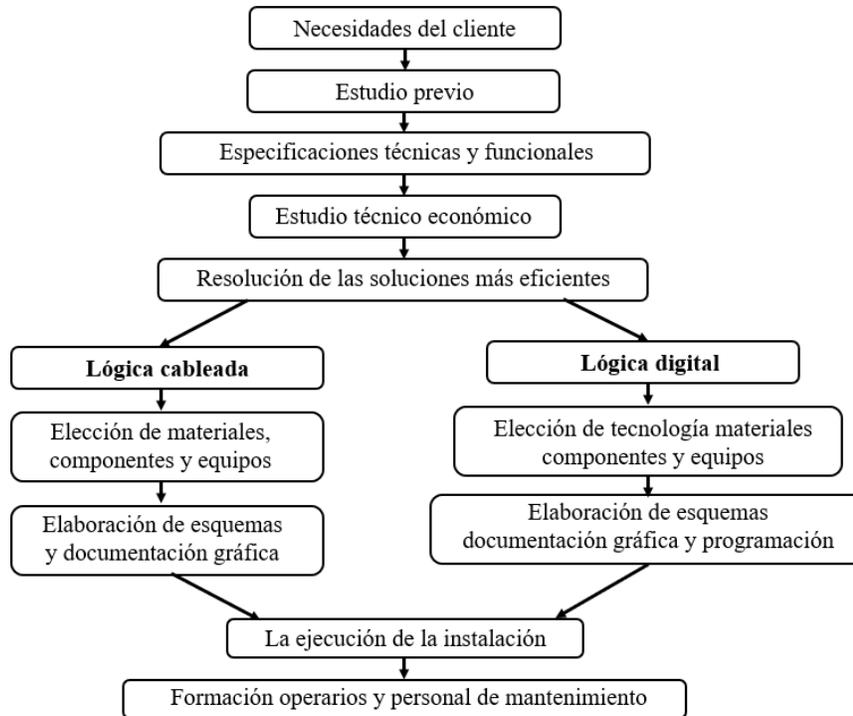


**Figura 11.** Caja de bornes de un motor trifásico.

## 2.3 Diagramas de circuitos

Actualmente, en los procesos de automatización, hay diferentes topologías para poder llevar a cabo las tareas deseadas. Existen una gran variedad de sistemas de automatización, los de mayor aplicación en las instalaciones eléctricas industriales son los basados en lógica cableada y autómatas programables o PLC. [12]

Para llevar a cabo el correcto desarrollo y elaboración de un sistema automático se necesita conocer previamente las especificaciones del proceso que se va a controlar. Julián Rodríguez en su libro Automatismos Industriales [12] sugieren las fases del desarrollo completo de un sistema automático como se muestra en la Figura 12.

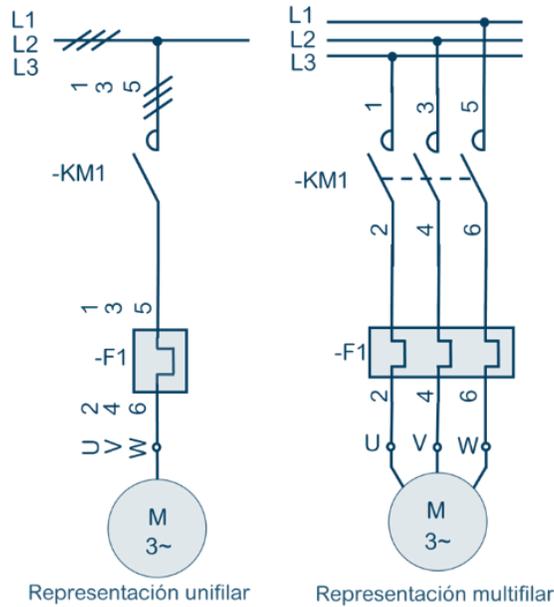


**Figura 12.** Fases de desarrollo de un sistema automático.

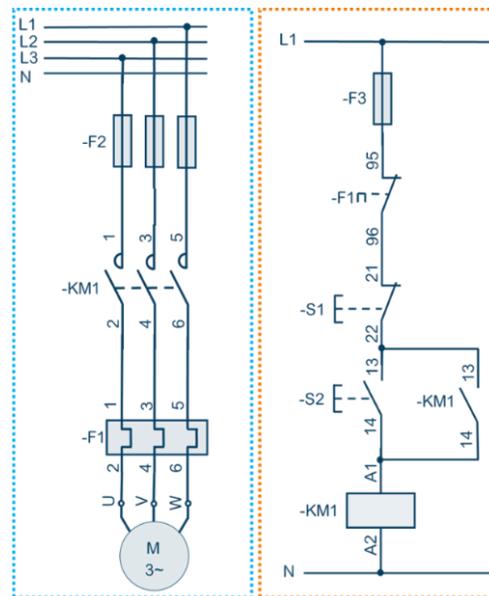
El TDIPEyEI, así como las prácticas desarrolladas, están orientados para el diseño e implementación de sistemas automáticos basados en lógica cableada pues son base para todo automatismo basado en lógica digital. Comúnmente en la industria se realizan sistemas automáticos que combinan la lógica cableada y la digital.

Para facilitar el diseño e instalación de circuitos eléctricos para automatización de sistemas, se elaboran diagramas como se muestra en la Figura 13 y Figura 14. Cualquier esquema representa, mediante un dibujo a escala, cómo se relacionan (interconectan) eléctrica y mecánicamente todos los elementos o componentes de una instalación eléctrica o de parte de ella.

Su clasificación es función de su representación, teniendo en cuenta dos criterios básicos: el número de elementos representados por un único símbolo (representación unifilar y multifilar) y la situación relativa entre los símbolos de un mismo elemento (representación conjunta, parcialmente desarrollada y desarrollada) [13]. La representación más común en la industria bajo el último criterio mencionado es la representación conjunta, por ello se abordará únicamente este tipo de representación. En la siguiente subsección se explica con más detalle.



**Figura 13.** Representación de diagrama unifilar y multifilar [13].



**Figura 14.** Representación desarrollada. [13].

### 2.3.1 Representación unifilar y multifilar

**Representación unifilar:** Se presentan dos o más conductores con un único trazo, en la figura 12 se muestra el diagrama de una representación unifilar del circuito de potencia para el arranque directo de un motor. Se segmenta este trazo tantas veces como conductores haya realmente. La segmentación se aplica también a los símbolos de los elementos para indicar que hay más de uno [13].

**Representación multifilar.** Se representan tantas líneas como conductores haya y tantos símbolos de aparatos o elementos como aparatos o elementos tenga el circuito [13], en la figura 12 se muestra el diagrama de una representación multifilar del circuito de potencia para el arranque directo de un motor.

Los circuitos de conexión (unifilar o multifilar) pueden representar esquemas de fuerza o mando (se explican a detalle sus diferencias en la Tabla 2). En un esquema de fuerza o potencia, se deben detallar todos los elementos del circuito, desde la alimentación hasta el receptor, incluidas las protecciones (fusibles, magnetotérmicos, etc.). En un esquema de mando o control se representan todos los símbolos de los mandos de control de los contactores, relés y demás aparatos que componen el circuito, en un orden establecido en función de su alimentación (si es posible) [11].

<b>Esquema de fuerza o potencia</b>	<b>Esquema de mando o control</b>
<p>El esquema de potencia se acostumbra a dibujar de forma multifilar. Las principales características que debe tener son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deben indicar los conductores de alimentación (L1, L2, etc.), y la tensión y la frecuencia de alimentación (400V, 50 o 60 Hz).</li> <li>• La clase de elementos (tipo y orden): -F1, -KM1, etc.</li> <li>• Las referencias de los polos del circuito.</li> <li>• Se indica las características de los hilos y las protecciones (calibre).</li> <li>• El trazado de las líneas del dibujo es más grueso que el utilizado para el esquema de mando.</li> </ul>	<p>El esquema de mando suele ubicarse a la derecha del esquema de potencia. Debe indicarse la clase (tipo y número) de cada elemento.</p> <p>A diferencia de los esquemas conjunto y semidesarrollado, para indicar el contacto auxiliar -KM1 se deberá añadir al lado del contacto la referencia del contactor.</p>

**Tabla 2.** Esquema de fuerza o potencia contra esquema de mando o control.

### 2.3.2 Representación desarrollada

Existen tres tipos de representación gráfica de circuitos eléctricos: conjunta, semidesarrollada y desarrollada, la más común es la representación desarrollada, esta consiste en representar por separado dos esquemas en un mismo dibujo, se compara con las otras representaciones en la Tabla 3.

<b>Representación desarrollada</b>	<b>Representación semidesarrollada</b>	<b>Representación conjunta</b>
Por un lado, el esquema del circuito principal o de potencia y, por el otro, el circuito de mando o control.	Se separan los circuitos de potencia y control, pero se trazan con una línea discontinua las uniones mecánicas entre los diferentes elementos que trabajan unidos.	Se utiliza un único esquema para representar el circuito de potencia y el circuito de control, los cuales se distinguen solamente por el grueso de las líneas del dibujo.

**Tabla 3.** Tipos de representación y características.

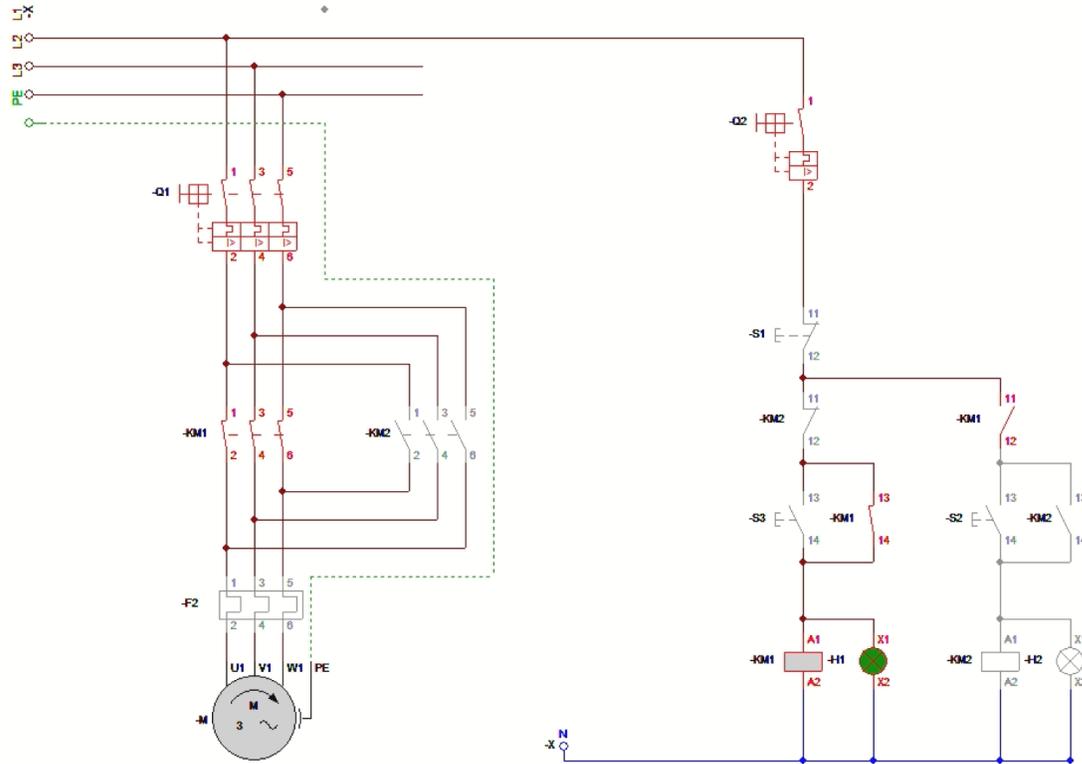
La representación desarrollada es la representación más utilizada y la más recomendable. Permite seguir fácilmente la conexión de los circuitos y facilita, así mismo, la comprensión de su funcionamiento. Los símbolos de los diferentes elementos de un mismo dispositivo o aparato se dibujan por separado. En la Figura 14 se muestra una representación desarrollada del circuito de conexión de arranque directo de un motor trifásico, se remarca en la parte punteada azul el circuito de fuerza o potencia y en la parte punteada anaranjada el circuito de control o maniobra.

Para este ejemplo, el circuito de potencia es el que se encarga de energizar al motor cuando el circuito de control lo ordena según su configuración. En el circuito de control se tiene una configuración de autorretención para la bobina del contactor, al presionarse el interruptor pulsador de marcha (S2), los contactos asociados a él conmutan, haciendo que el motor arranque. Cuando se presiona el interruptor pulsador de paro (S1), la bobina se desenergiza, por lo que sus contactos asociados vuelven a su estado de reposo, siendo así que se impide el flujo de corriente a través de ellos haciendo que el motor pare.

### **2.3.3 Simulación de los diagramas de circuitos**

Para la simulación de los circuitos de las prácticas propuestas, tanto de potencia como de control, se utilizó el software CADeSIMU [14]. Este simulador fue seleccionado debido a su interfaz intuitiva y su amplia biblioteca de componentes eléctricos básicos, lo que permitió simular los circuitos objeto de estudio.

CADeSIMU permite crear esquemas eléctricos de forma sencilla y rápida circuitos en su cualquier representación (desarrollada, semidesarrollada o conjunta) lo cual es suficiente para verificar el correcto funcionamiento del circuito propuesto. En la Figura 15 se presenta el circuito de la práctica 9 simulado en CADeSIMU.



**Figura 15.** Circuito de potencia y control para inversión de giro de un motor trifásico.

## 2.4 Componentes básicos de un automatismo eléctrico

El circuito de un automatismo eléctrico es el conjunto de aparatos, componentes, y elementos eléctricos que permiten la conexión, desconexión o regulación de la energía eléctrica procedente de la red eléctrica hacia los receptores (motores eléctricos, lámparas, baterías de condensadores, etc.). En el circuito eléctrico hay dos componentes: el circuito de mando (control o maniobra) y el circuito de fuerza (potencia o actuador).

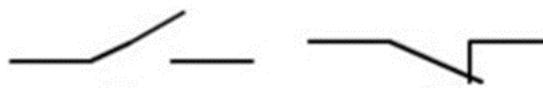
Los circuitos de mando y potencia están compuestos por componentes conectados entre sí para cumplir con un comportamiento determinado, los principales elementos son: interruptores (Switches), botones pulsadores y lámparas piloto, relevadores, contactores, fusibles, resistencias, transformadores.

Para la realización de diagramas eléctricos, en el mundo, se utilizan dos tipos de simbología eléctrica, la americana y la europea (Figura 16). Por simplicidad los símbolos mostrados en este y otros apartados (Figura 15) serán de la simbología definida en la norma internacional IEC 60617 (Comisión Electrotécnica Internacional),

esta simbología y la simbología europea son muy similares, es la que se va a utilizar en el resto del documento.

	Símbolo americano	Símbolo europeo
NA		
NC		

**Figura 16.** Simbología americana y europea.



**Figura 17.** Simbología de un contacto Normalmente Abierto y Normalmente Cerrado según la norma IEC 60617 [11].

### 2.4.1. Interruptores

Los interruptores, constituyen uno de los medios más elementales de control de motores eléctricos, ya que conecta o desconecta a un motor de la fuente de alimentación [11]. Estos componentes poseen navajas, las cuales abren o cierran simultáneamente por medio de un mecanismo y según su naturaleza, pueden ser normalmente cerrados (NC) o normalmente abiertos (NA o NO). Están diseñados para conducir corriente por un tiempo indefinido y soportar la corriente de cortocircuitos por periodos breves de tiempo [11].

Un interruptor en su presentación más simple, también conocido como contacto (Figura 17) está presente en dispositivos como relés, contactores, etc. Un contacto es la parte de un dispositivo eléctrico donde dos partes conductoras se tocan o se separan para permitir o interrumpir el flujo de corriente eléctrica.

Su mecanismo de operación puede ser mecánico o una combinación mecánica y de electrónica de potencia. Según el tipo de interruptor, el mecanismo puede ser utilizado para: abrir y cerrar los contactos manualmente, abrir y cerrar los contactos sobre pedido o abrir los contactos automáticamente [15].

Dentro de todos los dispositivos manuales para circuitos de maniobra presentes en el mercado, los de mayor uso en instalaciones de automatismos industriales son los siguientes:

- Pulsador de paro.
- Pulsador de marcha.
- Interruptor de dos y tres posiciones.

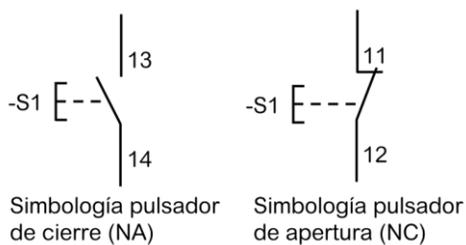
- Interruptor de llave.
- Interruptor de palanca joystick.
- Pulsador de pedal.

### 2.4.1.1 Interruptor de pulsador

Existen diferentes tipos de interruptores, los más usados en los tableros eléctricos son mejor conocidos como pulsadores (Figura 18), estos se accionan generalmente bajo una operación manual mediante un botón (Figura 21), aunque también pueden ser accionados automáticamente a causa de una configuración eléctrica. En la Figura 19 y Figura 20 se muestra el módulo de interruptor pulsador NA y NC.

La simbología para los interruptores pulsadores se muestra en la Figura 18. Las unidades de los números 13/14 y 11/12 hacen referencia a la normalidad del interruptor, 3/4 para la normalidad abierta y 1/ 2 para la normalidad cerrada, por otro lado, las decenas están ligadas al número de componente, por ejemplo, si hay dos pulsadores NA, el primero tendrá los números 13 y 14 mientras que el segundo tendrá los números 23 y 24.

La letra a la izquierda del símbolo indica el tipo de elemento, en este caso al ser una letra (-S) indica que se trata de un elemento de control manual, aunque algunas veces se utiliza la letra (-M) indicando que es un pulsador de marcha o la letra (-P) indicando que es un pulsador de paro. El número que acompaña a esta letra indica el número de componente al igual que las decenas del número antes mencionado.



**Figura 18.** Interruptor pulsador normalmente abierto y normalmente cerrado [13].



**Figura 19.** Interruptor Normalmente cerrado [16].



**Figura 20.** Interruptor Normalmente abierto [16].



**Figura 21.** Interruptor Normalmente abierto con Botonera Industrial.

#### 2.4.1.2 Interruptores automáticos

Un interruptor automático (Figura 22) también llamado disyuntor o guardamotor, permite abrir y cerrar un circuito, excepto que en estos interruptores se puede abrir en forma automática cuando el valor de la corriente que circula por ellos excede a un cierto valor previamente fijado. [11]

En la Figura 23 se muestra el símbolo del interruptor termomagnético, el rectángulo representa el dispositivo de disparo térmico, mientras que las líneas verticales representadas con los números 1, 3 y 5 representan los tres polos con contactos móviles, mientras que los números pares señalan los extremos fijos de los contactos. La letra Q indica que se trata de un interruptor magnetotérmico o disyuntor.

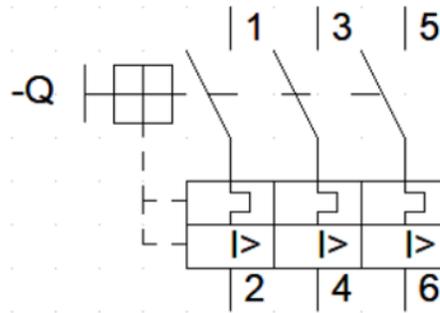
Por debajo de los contactos móviles se encuentra un bloque en forma de rectángulo, el rectángulo superior representa el disparador térmico, éste protege contra sobrecargas prolongadas. Cuando la corriente excede el valor nominal durante un tiempo determinado, el bimetálico se calienta y se deforma, accionando un mecanismo que abre los contactos del interruptor.

Por otro lado, el rectángulo inferior con símbolo “>”, representa el disparador magnético, cuando la corriente aumenta se genera un campo magnético lo suficientemente fuerte que hace que los contactos se abran.

En resumen, si la corriente que circula por el disyuntor (interruptor automático) supera la intensidad nominal durante un tiempo prolongado, el dispositivo de disparo térmico se calienta y se dobla, regresando a los contactos móviles a su estado abierto. Si se produce un cortocircuito, el campo magnético generado por la corriente que circula por el dispositivo de disparo magnético también impulsa los contactos móviles, abriendo los tres polos de forma instantánea.



**Figura 22.** Interruptor automático.  
Fuente: Siemens.



**Figura 23.** Símbolo de Interruptor automático tripolar. Fuente: CADeSIMU.

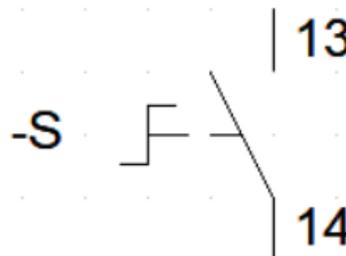
### 2.4.1.3 Interruptor de palanca

El funcionamiento básico de un interruptor de palanca (Figura 24) es bastante sencillo. El interruptor, en su forma más simple, tiene dos posiciones (Figura 25), encendido y apagado (ON y OFF, respectivamente). Cuando la palanca se mueve a la posición de encendido, permite que la corriente eléctrica fluya a través del circuito, activando así el dispositivo o sistema. Al mover la palanca a la posición de apagado, interrumpe el flujo de corriente eléctrica, desactivando el dispositivo o sistema [17].

En la Figura 25 se muestra el símbolo del interruptor de palanca, al igual que en los interruptores pulsadores las unidades de los números 13/14 hacen referencia a la normalidad abierta del interruptor mientras que las decenas indican el número del elemento, la letra a la izquierda del símbolo indica el tipo de elemento, en este caso al ser una letra (-S) indica que se trata de un elemento de control manual.



**Figura 24.** Interruptor de palanca.



**Figura 25.** Símbolo de interruptor de palanca. Fuente: CADe SIMU.

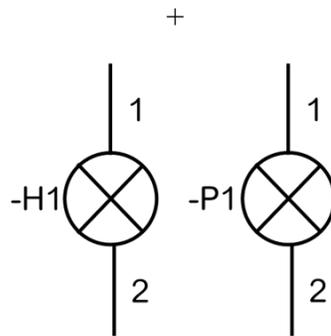
## 2.4.2. Botones pulsadores y lámparas piloto.

Los botones pulsadores y las lámparas piloto (Figura 26) en un tablero eléctrico proporcionan un medio conveniente para controlar y monitorear los circuitos y sistemas eléctricos. Permiten a los operadores activar o desactivar dispositivos eléctricos según sea necesario y proporcionan retroalimentación visual instantánea sobre el estado de los sistemas, lo que ayuda en la detección rápida de problemas y en la toma de decisiones.

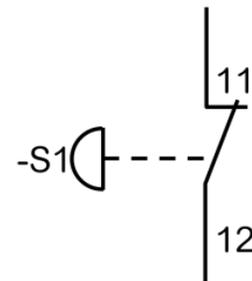
Los colores y símbolos en los botones y lámparas eléctricas tienen la función de proporcionar una indicación visual clara y comprensible de la función de un dispositivo o el estado de un sistema, mejorar la seguridad y facilitar la operación (ver Tabla 4). En la Figura 27 y Figura 28 se muestra el símbolo de una lámpara y un piloto, así como el símbolo de un botón de paro de emergencia que es muy común en los tableros eléctricos.



**Figura 26.** Botones y lámparas piloto. Cortesía de La casa de control y el gabinete.



**Figura 27.** Lámpara y piloto [13].



**Figura 28.** Símbolo de botón de paro de emergencia [13].

La simbología se describe igual que en los interruptores pulsadores. Por otro lado, la letra "H" indica que la lámpara es de tipo incandescente y la letra "P" suele indicar que la lámpara es de tipo piloto, lo que significa que indica el estado de operación (ejemplo: encendido o apagado).

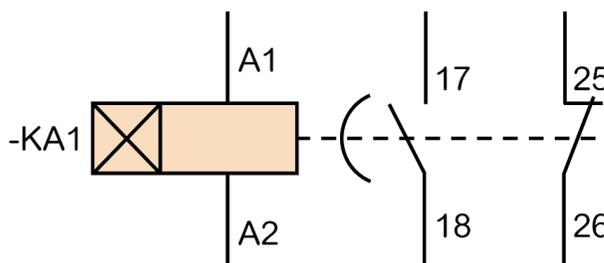
<b>Colores para botones pulsadores</b>	<b>Colores para lámparas de señalización</b>
--	--

	Parada, Desconexión, Emergencia		Estado normal.
	Marcha, Conexión, Pulsatorio		Atención o precaución.
	Marcha de un retroceso fuera del proceso normal de trabajo o marcha de un movimiento para eliminación de una condición peligrosa.		Máquina preparada para servicio.
			Los circuitos eléctricos se encuentran en tensión/ estado normal.
	Toda Función para la que no vale ninguno de los colores anteriores.		Todas las funciones para las que no vale ninguno de los colores citados.

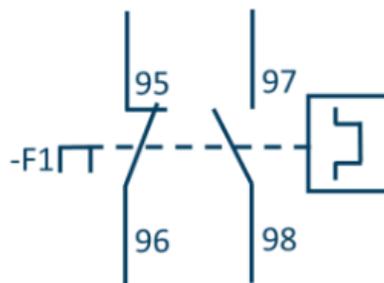
**Tabla 4.** Colores para botones pulsadores y lámparas piloto.

### 2.4.3. Relevadores

Un relevador de control es un interruptor electromagnético que se emplea como dispositivo auxiliar en los circuitos de control de arrancadores de motores grandes o directamente como arrancadores en motores pequeños. El relevador electromagnético abre o cierra un conjunto de contactos cuando su bobina se energiza. La bobina produce un campo magnético fuerte que atrae una armadura móvil accionando los contactos. Los relevadores de control se usan por lo general en circuitos de baja potencia y pueden incluir relevadores de tiempo retardado (Figura 29) que cierran y abren sus contactos en intervalos de tiempo definidos [11]. En la Figura 30 se muestra el símbolo de un relevador de sobrecarga, que funciona bajo el mismo principio, pero accionándose cuando alcance un límite de corriente.



**Figura 29.** Símbolo de Relevadores temporizadores [13].

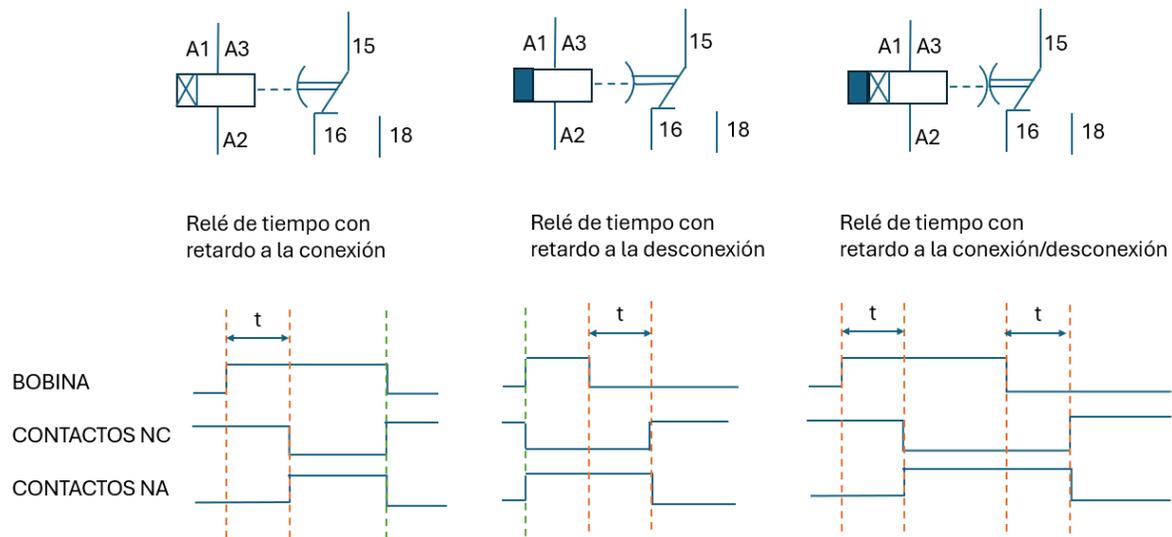


**Figura 30.** Símbolo de relevador de sobrecarga.

La simbología de estos dispositivos varía con lo que se aplica en los interruptores. En este caso, las unidades 5/6 y 7/8 representan la normalidad de los contactos, NC y NA respectivamente, mientras que las decenas siguen indicando el número de elemento del mismo tipo. Las letras a la izquierda del símbolo indican el tipo de dispositivo, KA para indicar que es un contactor auxiliar (o relevador auxiliar) de tiempo y F para indicar que es un relevador de sobre carga. Por otro lado, las letras A1 y A2 acompañan a la bobina indicando los extremos de esta.

Los relevadores de protección (térmicos o de sobre carga) constituyen elementos esenciales en circuitos de potencia o mando. Sin embargo, para aplicaciones de circuitos de control, donde requiere una secuencia temporal precisa en la activación o desactivación de circuitos, se utilizan relevadores de tiempo. Estos dispositivos, al introducir un retardo temporal programable, desempeñan un papel crucial en la automatización de procesos industriales y en la seguridad de diversos sistemas.

Existen tres principales clasificaciones de relevadores de tiempo; relevadores de tiempo con retardo a la conexión, relevadores de tiempo con retardo a la desconexión y relevadores de tiempo con retardo a la conexión desconexión. Estos tienen un comportamiento que, aunque es similar pueden aplicarse de distintas maneras. El funcionamiento de los tres principales tipos de relés temporizadores se detalla en [18] y en la Figura 31.



**Figura 31.** Comportamiento de Relevadores de tiempo [18].

#### 2.4.4. Contactores

El contactor (Figura 32) es un dispositivo electromagnético, que puede ser controlado a distancia para cerrar o abrir circuitos de potencia. Una de las principales aplicaciones del contactor se realiza en el control de los circuitos de alimentación de todo tipo de motores eléctricos, pero se utiliza para alimentar otros tipos de receptores, como sistemas de resistencias, líneas de luminarias, etcétera [19].

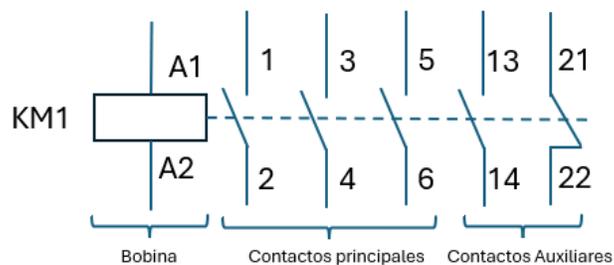
Un contactor funciona mediante una bobina electromagnética que, cuando se energiza, atrae un émbolo móvil conectado a contactos eléctricos, cerrando así el circuito y permitiendo que la corriente fluya. Cuando la bobina se desenergiza, un resorte de retorno abre los contactos, interrumpiendo el flujo de corriente. Este proceso puede ser controlado manual o automáticamente, lo que hace que los contactores sean ideales para el control remoto de dispositivos de alta potencia, como motores eléctricos.

Los contactores son tan populares en la industria debido a su robustez, pues son capaces de efectuar elevados ciclos de maniobra eléctrica de cierre y apertura, que van desde 3 hasta 1200 ciclos por hora [20].

La simbología mostrada en la Figura 33 muestra la simbología clásica de un contactor, los números del 1 al 6 dan lugar a los contactos principales siendo los números pares las partes fijas del contacto y los números impares las partes móviles. Además, A1 y A2 indican la presencia de la bobina, adicionalmente se tiene KA para contactores auxiliares y KM para contactores principales. La simbología de los contactos auxiliares de la Figura 33 se explica en la siguiente subsección.



**Figura 32.** Contactor. Cortesía de Schneider Electric.



**Figura 33.** Simbología del contactor.

#### 2.4.4.1 Bloque de contactos auxiliares

Un bloque de contactos auxiliares es un dispositivo (Figura 34) que se utiliza para añadir contactos adicionales a un contactor principal, su símbolo se muestra en la

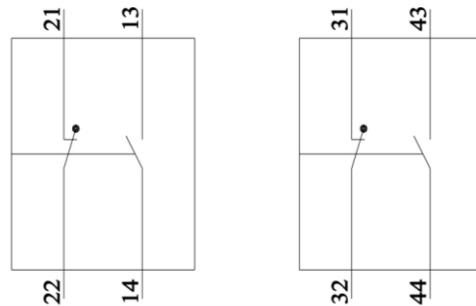
Figura 35. Los bloques de contactos auxiliares se pueden utilizar para una variedad de propósitos, como:

- Señalización: Indicar el estado del contactor principal (encendido o apagado).
- Interbloqueo: Evitar que dos contactores se activen al mismo tiempo.
- Control de circuitos auxiliares: Controlar otros dispositivos o sistemas con la misma señal que el contactor principal.

Al igual que en los interruptores, los números 13/14 y 21/22 hacen referencia a la normalidad del contacto, 3/4 para la normalidad abierta y 1/ 2 para la normalidad cerrada, por otro lado, las decenas están ligadas al número de contacto, por ejemplo, si hay dos contactos NA, el primero tendrá los números 13 y 14 mientras que el segundo tendrá los números 23 y 24.



**Figura 34.** Bloque de contacto auxiliar. Fuente: Siemens.



**Figura 35.** Símbolo de bloque de contactos auxiliares. Fuente: Siemens.

## 2.5 Métodos de arranque de motores

El arranque de un motor trifásico es un proceso fundamental al poner en marcha muchos procesos industriales. Existen diversos métodos para arrancar un motor trifásico, y varían de acuerdo con su aplicación. Cada método tiene sus ventajas, desventajas y formas de ser realizados, a continuación, se describirán los métodos de arranque más comunes.

### 2.5.1 Arranque directo

El arranque directo de un motor trifásico es el circuito de control más simple y básico que existe, este circuito solo se compone de los dispositivos más elementales para protección y arranque de motor [21]. Un ejemplo de este tipo de arranque es el que se utiliza normalmente en las casas para bombas de agua, pues las características del arranque no son críticas, como en muchas bombas de agua domésticas, además, este se usa por ser el de menor costo.

Uno de los inconvenientes del arranque directo son las elevadas corrientes de arranque que pueden provocar una caída de voltaje perjudicial sobre la línea que alimenta el contactor de arranque. El sistema de protección deberá soportar la corriente de arranque y durante el tiempo de aceleración previsto, y el contactor debe ser dimensionado para la potencia o corriente nominal del motor, el relé térmico de protección contra sobrecarga ajustado a la corriente nominal del motor.

En la Figura 36 se muestra el diagrama de conexión para un arranque directo de un motor trifásico, la parte punteada azul es el circuito de fuerza o potencia y la parte punteada anaranjada representa el circuito de control o mando.

El circuito de potencia se compone de los siguientes elementos: fusibles (-F2), contactos principales de un contactor (-KM1), relevador térmico (-F1) y el motor trifásico. Los dispositivos -F2 y -F1 actúan como dispositivos de protección para el motor, si la corriente aumenta por encima de un valor preestablecido o se presenta un calentamiento excesivo, estos dispositivos activan mecanismos que interrumpen el suministro eléctrico al motor.

Los contactos principales del contactor (-KM1) se cierran cuando se energiza la bobina del contactor presente en el circuito de control, esto sucede cuando se presiona el interruptor pulsador NA (-S2), que al estar conectado en paralelo con un contacto auxiliar del contactor (configuración de enclavamiento), basta con presionarse solo una vez para que los contactos del contactor conmuten hasta que se presione el interruptor pulsador de paro (-S1) o su dispositivo de protección se active.

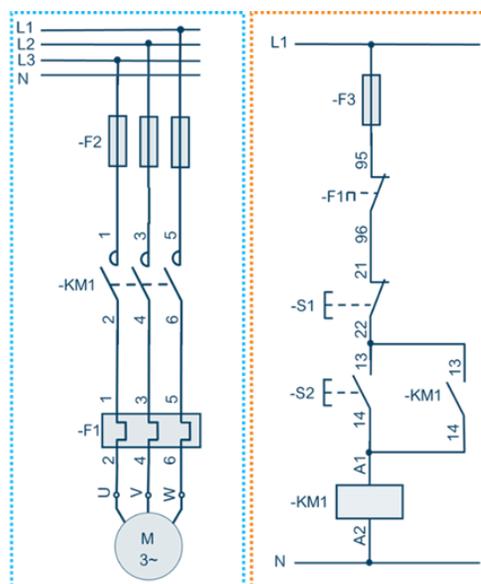
El dispositivo de protección para el circuito de control es el fusible (-F3), protegiéndolo ante un incremento de corriente.

## **2.5.2 Conexión estrella y delta**

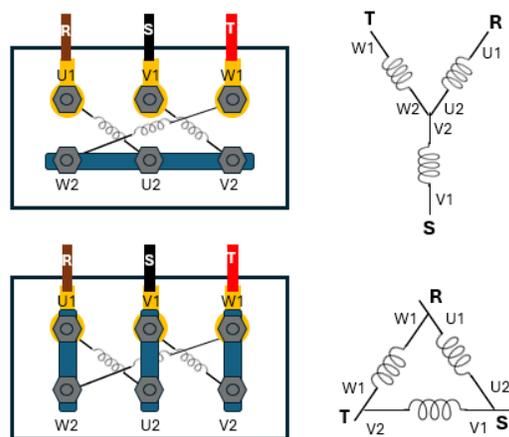
Todo circuito trifásico y en particular los motores, se puede conectar en estrella o en triángulo (delta) [22], estas son de las configuraciones más básicas. En la conexión estrella, el voltaje entre cada bobina es  $\sqrt{3}$  veces menor que el voltaje de línea, por ello esta conexión va orientada a altos voltajes, pues de esta manera se consigue que la

corriente en la bobina no sea muy elevada. Por otro lado, la configuración delta suele utilizarse en conexiones a bajo voltaje, pues el voltaje de línea es igual al voltaje en la bobina, sin embargo, la corriente de línea es  $\sqrt{3}$  veces mayor, por lo tanto, al tener un menor voltaje en las líneas no se presentan corrientes tan elevadas como lo sería con una conexión a alto voltaje.

En la conexión en estrella todos los extremos de cada bobina se conectan en un punto común y se alimentan por los otros extremos libres. Por el contrario, en la conexión en triángulo cada final de bobina se conecta al principio de la fase siguiente, alimentando el sistema por los puntos de unión, se puede ver claramente en la Figura 37.



**Figura 36.** Arranque directo de un motor (representación desarrollada) [13].



**Figura 37.** Conexión estrella Delta de un motor de 6 puntas.

En la conexión delta, la intensidad de corriente de cada línea es mayor que en la conexión en estrella. Además, el voltaje en cada bobina en la conexión en estrella es menor que en la conexión en delta. En la Tabla 5 se resume las relaciones entre los voltajes de línea y de fase en un sistema trifásico conectado en estrella, específicamente en el contexto de la red eléctrica de 220 V en México, la cual será usada en el TDIPEyEI.

Magnitud eléctrica	Relación	Valor típico (V o A)
--------------------	----------	----------------------

Voltaje de Línea (Vl)	$\sqrt{3} * \text{Tensión de bobina (Vb)}$	220 V
Voltaje de bobina (Vb)	$\text{Tensión de Línea (Vl)} / \sqrt{3}$	$220 \text{ V} / \sqrt{3} \approx 127 \text{ V}$
Corriente de Línea (Il)	Igual a la Corriente de bobina (Ib)	Depende de la carga
Corriente de bobina (Ib)	Igual a la Corriente de Línea (Il)	Depende de la carga

**Tabla 5.** Relaciones de línea y fase con conexión estrella.

La Tabla 6 resume las relaciones entre los voltajes de línea y de fase en un sistema trifásico conectado en estrella, específicamente en el contexto de la red eléctrica de 440 V en México, sin embargo, esta no se usará en el TDIPEyEI puesto que no se cuenta con ese voltaje en la fuente de alimentación del mismo.

Magnitud eléctrica	Relación	Valor típico (V o A)
Voltaje de Línea (Vl)	Igual al de bobina (Vb)	440 V
Voltaje de bobina (Vb)	Igual al Voltaje de Línea (Vl)	440 V
Corriente de Línea (Il)	Corriente de bobina (Ib) * $\sqrt{3}$	Depende de la carga
Corriente de bobina (Ib)	Corriente de Línea (Il) / $\sqrt{3}$	Depende de la carga

**Tabla 6.** Relaciones de línea y fase con conexión delta.

### 2.5.3 Arranque estrella-delta

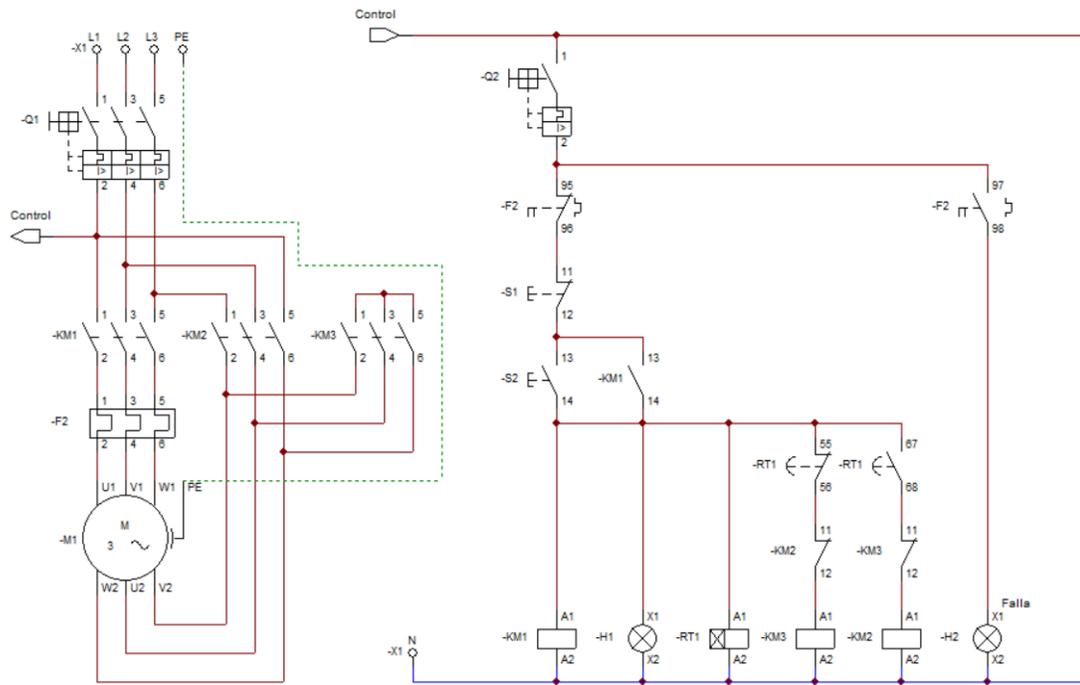
Este tipo de arranque es utilizado en motores que tienen disponibles sus terminales de fase al exterior y cuyo voltaje nominal para la conexión triángulo sea correspondiente al voltaje de la red, generalmente los valores nominales de voltaje son 220/440 voltios. Durante el arranque el voltaje aplicado al motor se reduce al 58% del voltaje nominal, además el tiempo que el motor puede ser conectado a la configuración estrella, está limitado por las características del motor.

Este arranque puede realizarse con transición a circuito abierto (lo más común) o con transición a circuito cerrado utilizando resistores adicionales en el circuito de potencia durante el paso de estrella a triángulo. En este arranque la corriente de arranque es

reducida a 1/3 del valor que alcanzaría en arranque directo, además de ser un arranque relativamente simple y económico. Entre las desventajas de este tenemos un torque de arranque bajo y fijo. Además, la corriente transitoria es elevada en el momento de la conmutación de estrella a triángulo [6].

En la Figura 38 se muestra el circuito de maniobra para el arranque estrella-delta, en él hay una transición de conexiones, en un primer tiempo la conexión se hace de tipo estrella y en un segundo tiempo de tipo delta, generalmente hay un retardo de tiempo entre la transición.

No se realizará una práctica donde se implemente esta conexión pues solo se cuenta con una fuente de alimentación de 220 V, sin embargo, se lleva a la parte de simulación pues es un circuito importante y comúnmente utilizado en la industria.



**Figura 38.** Circuito de fuerza en control simulado en CADe SIMU.

### 2.5.4 Placa de datos de un motor trifásico

La placa de características de un motor eléctrico muestra los datos técnicos que permiten comprender las capacidades y limitaciones de dicho equipo. Proporciona información precisa y detallada sobre diversos aspectos del motor, tales como sus características eléctricas, mecánicas y térmicas.

La información contenida en la placa de características resulta indispensable para conocer la forma de instalación correcta o diagnosticar fallas. En la Figura 39 se muestra la placa de datos del motor utilizado para las prácticas en el TDIPEyEI el cual es marca Siemens, con número de parte 1LA3184-2YK60, que se describen a continuación:



**Figura 39.** Placa de datos de motor trifásico.

1. Tipo de motor (RGZ): Corresponde a una serie específica de motores eléctricos trifásicos fabricados por Siemens. Esta designación indica características particulares del motor en cuanto a diseño, materiales y rendimiento, optimizado para diversas aplicaciones industriales.
2. Potencia (5 HP / 3.73 kW): Indica la capacidad del motor para realizar trabajo mecánico, expresada tanto en caballos de fuerza (HP) como en kilowatts (kW).
3. Velocidad (3475 rpm): Representa la cantidad de vueltas completas que da el rotor del motor en un minuto.
4. Frecuencia (60 Hz): Se refiere a la cantidad de ciclos por segundo de la corriente alterna que alimenta el motor. En este caso, el motor está diseñado para operar con una frecuencia de 60 ciclos por segundo, que es la frecuencia estándar en muchos países.
5. Voltaje (220 V o 440 V): Indica los voltajes nominales a los que se puede conectar el motor. La elección del voltaje dependerá de la tensión disponible en la instalación eléctrica.

6. Conexiones (9 puntas): Se refiere a la cantidad de terminales o conexiones eléctricas que tiene el motor. El diagrama de conexiones en la placa indica cómo conectar el motor a la fuente de alimentación según el voltaje.
7. Corriente (12.6 A a 220 V, 6.3 A a 440 V): Especifica la intensidad de corriente eléctrica que el motor consume cuando trabaja a su carga nominal, tanto para el voltaje bajo (220 V) como para alto voltaje (440 V). Esta información es crucial para seleccionar los conductores eléctricos y los dispositivos de protección adecuados.
8. Armazón (184T): Indica el tamaño y la forma del cuerpo del motor, así como el material del que está fabricado.
9. Ventilación (TCV): Significa que el motor tiene una carcasa totalmente cerrada con ventilación exterior. Esto permite que el aire circule alrededor del motor, disipando el calor generado y evitando el sobrecalentamiento.
10. Eficiencia (82.5%): Indica la proporción de la energía eléctrica que se convierte en energía mecánica útil. Una eficiencia del 82.5% significa que el 82.5% de la energía consumida por el motor se transforma en trabajo mecánico, mientras que el resto se disipa en forma de calor.
11. Números de parte (para rodamientos y motor): Estos números identifican los componentes específicos del motor, como los rodamientos (también llamados baleros) y otras piezas, lo que facilita su reemplazo en caso de desgaste o avería.
12. Servicio (continuo): Indica que el motor está diseñado para operar de manera continua a plena carga durante largos períodos de tiempo, sin necesidad de descansos frecuentes.
13. Aislamiento (Clase F): Se refiere a la calidad del aislamiento eléctrico de los bobinados del motor. La clase F indica que el aislamiento puede soportar temperaturas más altas que otros tipos de aislamiento, lo que aumenta la vida útil del motor.
14. Factor de servicio (1.15): Indica que el motor puede ser sobrecargado hasta un 15% de su potencia nominal durante períodos cortos de tiempo sin sufrir daños. Esto proporciona un margen de seguridad en caso de picos de carga.
15. Corriente a factor de servicio máximo (14.5 A a 220 V, 7.2 A a 440 V): Especifica la corriente que el motor consume cuando está trabajando a su máxima carga permitida.
16. Temperatura ambiente (40°C): Indica la temperatura máxima recomendada en la que el motor puede operar de manera segura. A temperaturas más altas, el rendimiento del motor puede verse afectado y su vida útil puede reducirse.
17. Incremento de temperatura: (90°C): Indica el incremento de temperatura que el motor podría soportar a partir de la temperatura máxima recomendada, es decir, el motor podría soportar hasta 130°C pero solo por periodos cortos de tiempo.

18. Norma (NEMA B): Indica que el motor cumple con los estándares establecidos por la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) para motores eléctricos, lo que garantiza un nivel de calidad y seguridad.
19. Letra código (J): Esta letra asignada por NEMA indica los límites de la corriente de arranque del motor, lo cual es importante para seleccionar los dispositivos de protección adecuados.
20. Peso (34 kg): Indica el peso total del motor, lo que es útil para su manipulación y transporte.

### 2.5.5 Corriente de arranque para motores trifásicos

Uno de los objetivos de este proyecto es proporcionar al estudiante las herramientas necesarias para que comprenda como hacer las mediciones de un sistema trifásico, una de las mediciones más básicas es la medición de corriente de arranque.

La corriente de arranque de un motor trifásico suele ser significativamente mayor que la corriente nominal del motor. La corriente de arranque en motores trifásicos es un parámetro esencial que determinará en gran medida la selección de dispositivos de protección con una capacidad de interrupción adecuada para soportar esta sobre corriente sin dispararse erróneamente durante el arranque.

Además, conociendo la corriente de arranque, se puede seleccionar el método de arranque más adecuado para el motor y la aplicación de manera que permita reducir la corriente de arranque y minimizar su impacto en la red.

Por otro lado, la corriente de arranque puede proporcionar información sobre el estado del motor. Un aumento significativo de la corriente de arranque normal puede indicar la presencia de fallas internas, como cortocircuitos o desbalance de tensiones.

Para determinar la corriente de arranque de un motor de inducción, es necesario conocer el voltaje nominal, los caballos de fuerza y la letra código de su placa de características [23]. Entonces, la potencia aparente de arranque ( $S_{\text{arranque}}$ ) se calcula según la ecuación 1.

$$S_{\text{arranque}} = (\text{caballaje nominal})(\text{factor de letra de código}) \quad (1)$$

La corriente de arranque ( $I_L$ ) se puede calcular con la ecuación 2, donde  $V_T$  es el voltaje suministrado al motor.

$$I_L = \frac{S_{\text{arranque}}}{\sqrt{3}V_T} \quad (2)$$

Letra de Código nominal	Rotor bloqueado kVA/hp	Letra de Código nominal	Rotor bloqueado kVA/hp
A	0-3.15	L	9.00-10.00
B	3.15-3.55	M	10.00-11.00
C	3.55-4.00	N	11.20-12.50
D	4.00-4.50	P	12.50-14.00
E	4.50-5.00	R	14.00-16.00
F	5.00-5.60	S	16.00-18.00
G	5.60-6.30	T	18.00-20.00
H	6.30-7.10	U	20.00-22.40
J	7.10-8.00	V	22.40 y más
K	8.00-9.00		

**Tabla 7.** Tabla de letras de código NEMA que indica los kVA/hp de arranque nominales de un motor [23].

Para el motor utilizado en las prácticas 9 y 10 se obtienen los siguientes cálculos de corriente de arranque:

El voltaje nominal para el motor serán 220V, los caballos de fuerza son 5 y la letra código es J como se muestra en su placa de características (Figura 39). Entonces, la potencia aparente de arranque del motor será:

$$S_{\text{arranque}} = (5 * 0.746\text{kW})(8) = 29.84 \text{ kW} \quad (3)$$

A partir de la potencia aparente de arranque calculada (3), se puede calcular la corriente de arranque (4)

$$I_L = \frac{S_{\text{arranque}}}{\sqrt{3}V_T} = \frac{29.84 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 220} = 78.3 \text{ A} \quad (4)$$

## 2.6 Medidores de potencia

Un medidor de potencia o analizador de redes realiza mediciones de los parámetros eléctricos utilizados en el análisis de la red eléctrica. Las características de estos analizadores de redes, también conocidos como medidores de potencia, dependen del modelo y del fabricante; entre sus características más comunes se destacan las siguientes:

- Medición de parámetros eléctricos por fase o trifásica.
- Cálculo y/o presentación en pantalla de los principales parámetros eléctricos.
- Interfaz para la comunicación con una computadora.
- Registro de valores de forma remota utilizando un software destinado a ello.
- Almacenamiento de valores máximos y mínimos de todos los parámetros.

En el IEM, se encuentra un dispositivo para medir la potencia que actualmente está en desuso, el medidor Powerlogic PM650 que se muestra en la Figura 40, es capaz de reemplazar medidores básicos análogos como amperímetros, voltímetros o wattíhorímetros, además es útil en aplicaciones industriales de monitorización de energía eléctrica. El medidor PM650 dispone de un visualizador opcional para observar las variables medidas y realizar ajustes localmente. Adicionalmente, este visualizador se utiliza como elemento independiente para la configuración de cualquier unidad instalada [24].

La unidad se puede usar con una gran variedad de conexiones de cableado de sistemas de alimentación de 3 fases, incluyendo las conexiones en triángulo de 3 hilos y en estrella de 4 hilos.



**Figura 40.** Medidor de potencia Power Logic.

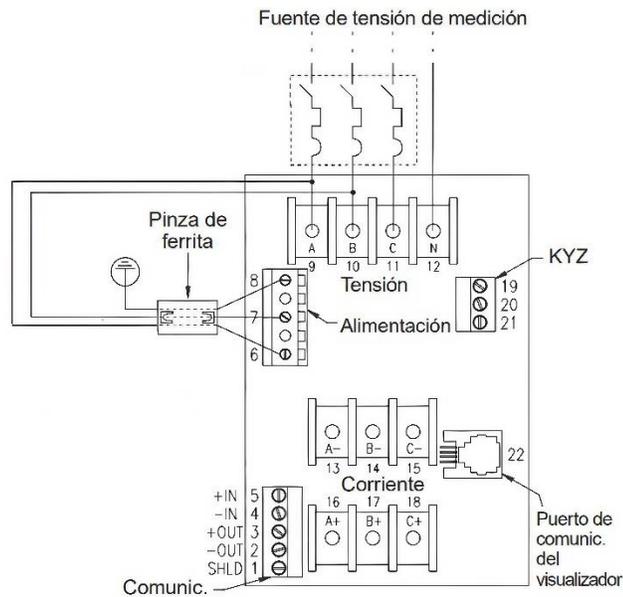
El medidor PM650 realiza mediciones de los principales parámetros y pueden clasificarse como:

- Lecturas en tiempo real: corriente en cada fase, voltaje (fase-fase, fase-neutro), potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia verdadera y frecuencia.
- Lecturas de energía: energía total acumulada activa, reactiva y aparente en las tres fases.
- Lecturas de calidad de energía: distorsión armónica de voltajes y corrientes.

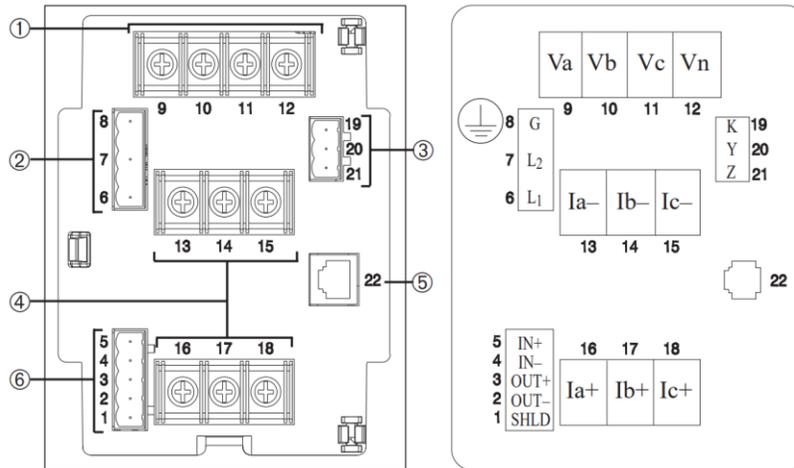
Además de las características antes mencionadas, el medidor PM650 cuenta con un puerto RS-485 para comunicar el medidor con una PC y los protocolos de comunicaciones que soporta el medidor PM650 son: Powerlogic, Modbus y Jbus [25].

El medidor de potencia Power Logic puede ser energizado derivando la alimentación de control de la fuente de tensión de medición, la conexión se realiza como se muestra en la Figura 41. Para su configuración básica, basta con conectar las fases y el neutro de la fuente trifásica a los bornes 9, 10, 11 y 12, respectivamente. Opcionalmente, se pueden incorporar sensores de corriente en los bornes 13-18 para una medición de corriente de cada línea. El Power Meter dispone de un visualizador opcional para observar las variables medidas y realizar ajustes localmente (borne 22). Se describen las conexiones generales en la siguiente lista y se muestran en la Figura 42.

1. Entradas de tensión de 3 fases.
2. Terminales de alimentación.
3. Salida de impulsos KYZ.
4. Entradas de corriente de 3 fases.
5. Puerto de comunicación para el visualizador.
6. Terminal de comunicaciones RS-485.



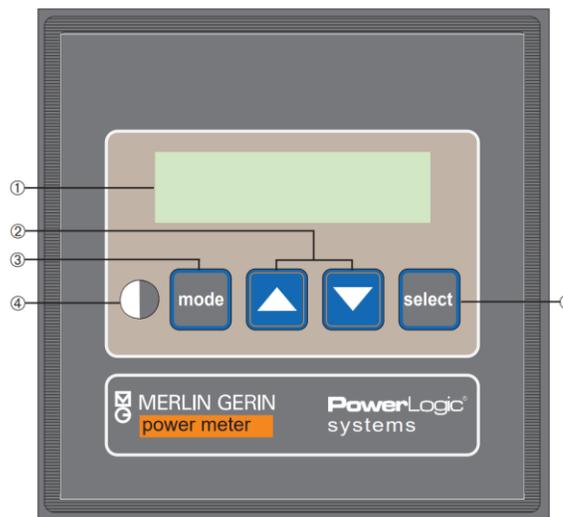
**Figura 41.** Conexión de alimentación del sistema PM650.



**Figura 42.** Vista frontal de la unidad e identificadores del medidor PM650.

En el módulo de pantalla además de visualizar las mediciones se puede configurar las diferentes opciones del medidor para lo cual tiene 5 botones que permiten realizar estas tareas, la pantalla se muestra en la figura 42, para mayor información consulta el manual de usuarios [26]. Cada uno de los botones tiene la siguiente función:

1. Pantalla para la visualización local de los valores medidos.
2. Botones de flechas: para desplazarse a través de las pantallas del visualizador. En los modos de configuración, restablecimiento y diagnóstico sirven para cambiar los valores.
3. Botón mode: para recorrer los modos disponibles.
4. Botón de contraste: para cambiar el contraste de la pantalla.
5. Botón select: para seleccionar los modos y los valores de los modos de configuración, restablecimiento y diagnóstico.



**Figura 43.** Componentes del visualizador del Power Meter

## 2.7 Normatividad en la construcción de tableros eléctricos

la International Electrotechnical Commission (IEC) es una organización dedicada a desarrollar normas estándar en el campo de la electrotecnia electrónica y las tecnologías relacionadas estas normas son utilizadas a nivel mundial para garantizar la seguridad compatibilidad y calidad de equipos eléctricos y electrónicos.

La norma IEC 61439 establece un marco regulatorio riguroso para la fabricación y verificación de conjuntos de aparamenta de baja tensión [27]. Este estándar detalla las responsabilidades de cada actor involucrado en el proceso (Figura 44):

- **Fabricante original:** Debe llevar a cabo un conjunto verificaciones de diseño para garantizar que los componentes individuales cumplen con los requisitos normativos. Una vez superadas estas pruebas, el fabricante emite un certificado de conformidad.
- **Fabricante del conjunto:** Es responsable de realizar verificaciones rutinarias en cada conjunto ensamblado, asegurando así que la integración de los componentes cumpla con las especificaciones de la norma. Al completar estas verificaciones, el fabricante del conjunto puede emitir una declaración de conformidad para el conjunto completo.

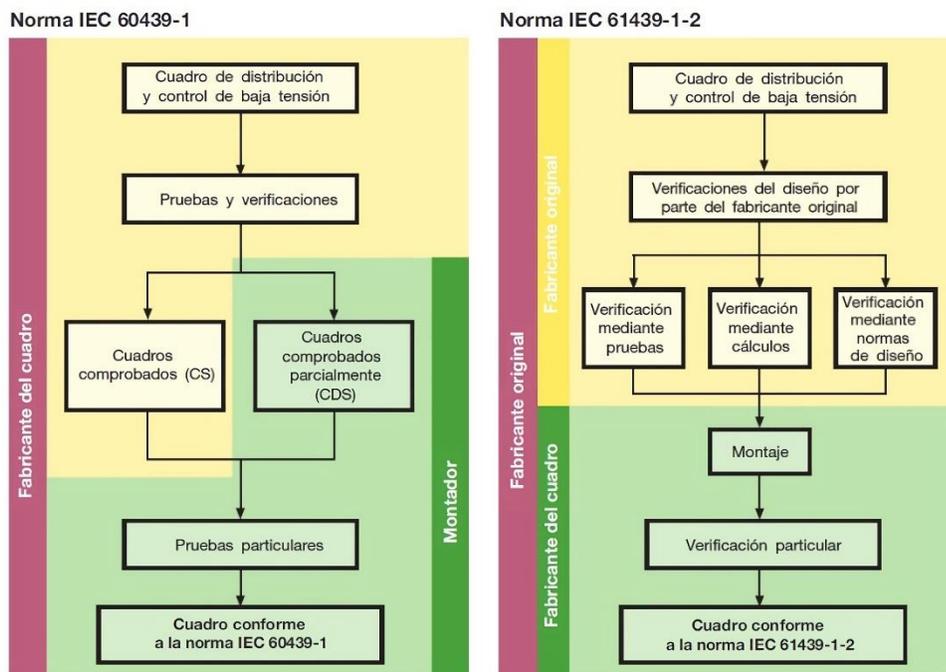


Figura 44. Diagrama de pruebas correspondientes [28].

Las pruebas en las normas IEC 61439 indican la realización de pruebas exhaustivas en el proceso de fabricación y montaje del cuadro para garantizar ciertas características [28]. Estas características pueden ser verificadas mediante pruebas prácticas, calculadas o mediante el cumplimiento de las normas de diseño y a continuación se enlistan las más generales:

1. Resistencia de los materiales y partes del cuadro
2. Grado de protección de las envolventes
3. Distancias de aislamiento en aire y superficialmente
4. Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección
5. Instalación de los aparatos y los componentes de maniobra
6. Circuitos y conexiones eléctricas internas
7. Terminales para conductores externos
8. Propiedades dieléctricas
9. Límites de sobre temperatura
10. Resistencia a cortocircuitos
11. Compatibilidad electromagnética (EMC)
12. Funcionamiento mecánico

# Capítulo 3

---

## Metodología

### Diseño y desarrollo del tablero

En este capítulo se detalla el proceso de diseño y construcción del tablero, desde la concepción inicial hasta la puesta en marcha. Se presentan los planos de montaje y una descripción de cada componente. Asimismo, se justifica la elección de los materiales y se explicarán los criterios de diseño considerados.

### 3.1 Especificación del proyecto

#### 3.1.1 Modelo funcional

A continuación, se definen los requerimientos funcionales y no funcionales del proyecto, priorizando las necesidades de los usuarios, las limitaciones y delimitaciones del entorno en el que se ejecutó el proyecto. El planteamiento de los requerimientos está ligado a las limitaciones y delimitaciones detalladas en la sección 1.8 Limitaciones y delimitaciones.

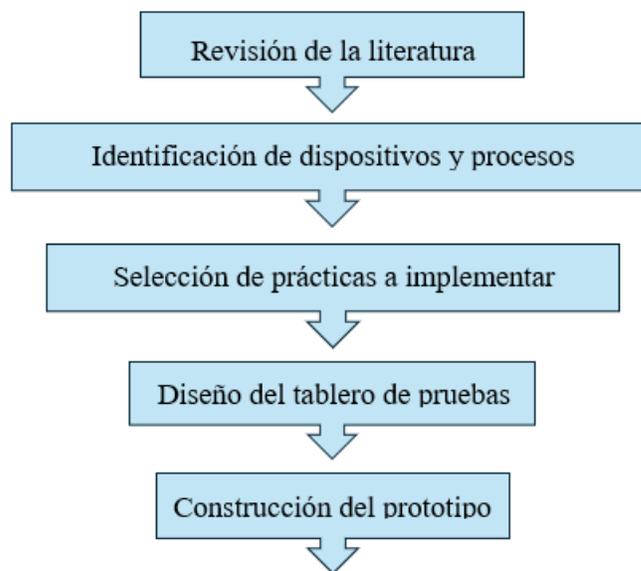
Funcionales	No funcionales
En el tablero se pueden probar circuitos eléctricos relevantes para la educación en electrónica y electricidad industrial.	El sistema debe ser compatible con diferentes marcas de componentes pues éstos son estándar.
Se permite la interacción del usuario para ajustar parámetros de los circuitos simulados.	Debe ser fácil de usar y tener una interfaz de usuario intuitiva para estudiantes y educadores. El tablero debe ser estable, confiable y sin errores frecuentes.

Se deben incluir los dispositivos y componentes electrónicos disponibles para la construcción de circuitos en el tablero.	Debe ser seguro eléctricamente y cumplir con las normativas de seguridad básicas.
Debe ser posible cambiar entre diferentes configuraciones de circuitos.	El tablero debe ser resistente y duradero, adecuado para su uso en entornos educativos.
Se debe contar con herramientas de aprendizaje (guías de prácticas y ejercicios prácticos).	Debe tener una documentación clara y completa.
Debe ser posible hacer mediciones de los resultados de las prácticas.	Para su uso debe ser manipulado o supervisado por un profesor o alguien capacitado en sistemas eléctricos de potencia, para alumnos sin formación, se usa con fines demostrativos.

**Tabla 8.** Requerimientos funcionales y no funcionales.

### 3.1.2 Diseño conceptual

Se estableció una visión general del proyecto, sentando las bases para las etapas diseño e implementación. La visión general del desarrollo del proyecto se muestra en la Figura 45 y se describe a continuación:



**Figura 45.** Diseño conceptual del proyecto.

**Revisión de la literatura:** Se realizó una revisión de literatura especializada en electrónica y eléctrica industrial, incluyendo libros, artículos científicos, tesis y otros recursos relevantes con el fin de definir la mejor manera de realizar el tablero.

**Identificación de dispositivos y procesos:** Se identificaron los recursos existentes en la UTM y los que se debían adquirir priorizando aquellos que son importantes en la industria y que complementen el TDIPEyEI.

**Selección de prácticas a implementar:** A partir de los componentes identificados, se seleccionaron las prácticas que serán implementadas en el TDIPEyEI, además, se simuló cada una de ellas en el entorno de simulación CADeSIMU.

**Diseño del tablero interactivo:** Se desarrolló el diseño del tablero a partir de las prácticas seleccionadas y la disponibilidad de los componentes para realizarlas, y cualquier otro aspecto relevante como la disposición de espacio.

**Construcción del prototipo:** Se construyó y ensambló el tablero y se replicaron las prácticas para hacer pruebas de su correcto funcionamiento integrando los dispositivos simulados y las herramientas interactivas.

### 3.1.3 Detalles del diseño

En esta etapa se profundizó en la definición de las características técnicas y funcionales del TDIPEyEI. Se definieron las características técnicas para la propuesta del diseño, así mismo, se definieron las prácticas que se podrán realizar, donde se ubican los componentes contemplados, y como fueron seleccionados.

#### **Especificaciones Técnicas:**

Se propuso que el TDIPEyEI estuviese ubicado en el laboratorio de Automatización y Control ubicado en el edificio “Laboratorios Avanzados de Electrónica”, debido a que la instalación de la fuente trifásica disponible se encuentra en este laboratorio. Se propuso que el TDIPEyEI no excediera las siguientes dimensiones:

- Profundidad: 0.90 m
- Altura: 2.0 m
- Ancho: 1.5 m
- Volumen máximo total: 2.7 m<sup>3</sup>

Las disciplinas que se usaron para el desarrollo del tablero son:

- Electrónica de potencia
- Máquinas eléctricas

Las prácticas que se pueden realizar en el tablero se enlistan a continuación:

1. Encendido simple de una lámpara con contactores.
2. Encendido con retención de una lámpara con contactores.
3. Encendido de dos lámparas con dos relés incompatibles pasando por paro.
4. Encendido de dos lámparas con dos relés incompatibles sin pasar por paro.
5. Encendido de una lámpara con retardo a la conexión.
6. Encendido/apagado de lámparas con retardo a la conexión/desconexión.
7. Encendido secuencial de lámpara.
8. Circuito de arranque directo de un motor.
9. Circuito Inversor de Giro en motor trifásico.
10. Sistema automático para el llenado de un tinaco.
11. Medición de variables eléctricas en sistemas trifásicos.

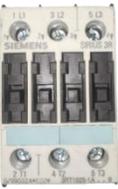
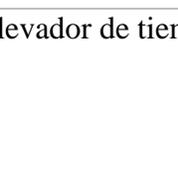
### **Especificaciones de dispositivos y equipo**

Los componentes y equipos recuperados en la UTM se adquirieron sin seguir ningún criterio específico pues el objetivo era darles uso. En la Tabla 9 se muestran los dispositivos y equipo disponible en el IEM y los Laboratorios Avanzados de Electrónica, y en la Tabla 10 se observan los dispositivos adquiridos.

Los componentes que se presentan en la Tabla 10 fueron seleccionados teniendo en cuenta la importancia de mantener un bajo costo. Para lograr esto, se optó por aquellos de menor costo tras comparar en diversas tiendas en línea, notando que la importación de productos extranjeros resultaba más económica. A pesar de esta consideración económica, se priorizó que todos los productos contaran con la certificación CCC (China Compulsory Certification), lo que confirma que han sido evaluados y cumplen con los estándares de seguridad y calidad exigidos por las autoridades chinas. En ambas tablas se muestran las características de los componentes y equipo.

<b>Cantidad</b>	<b>Modelo</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Características</b>	<b>Precio actual unitario (MXN)</b>
6	3RH1921-1DA11 Marca: SIEMENS	Bloque de contactos auxiliares	Tensión de aislamiento: 500 V Resistencia a tensión de choque: 6 kV	\$ 399.00

			Ciclos de maniobra: 200 K Corriente máxima: 10 A	
2	3RV1021-4DA15 Marca: SIEMENS	Interrupor automático 	Pérdidas con valor asignado de la intensidad: 10.5 W Resistencia a tensión de choque: 6 kV Ciclos de maniobra: 100 K Corriente permanente valor asignado: 25 A	\$1,890.00
3	3RT1034-1AN16 Marca: SIEMENS	Contactador tripolar 	Tensión nominal: 220 V Frecuencia nominal de la bobina: 60 HZ Corriente máxima: 32 A	\$815.00
3	3RU1126-4AB0 Marca: SIEMENS	Relé de sobre carga 	Tensión nominal: 220 V Potencia de servicio: 7.5 kW Corriente máxima: 40 A Rango de temperatura: -20 a 70 °C	\$490.00
3	3RT1025-1A0 Marca: SIEMENS	Contactador 	Tensión nominal: 220 V Frecuencia nominal de la bobina: 60 Hz	\$1,215.00

			Corriente máxima: 35 A	
3	3SB1212-6B306 Marca: SIEMENS	Lámpara indicadora 	Potencia máxima: 2.5 W Voltaje de operación: 130 V	\$300.00
2	3RV1041-4JA15 Marca: SIEMENS	Interruptor automático 	Resistencia a tensión de choque: 6 kV Potencia de servicio: 30 kW Corriente máxima: 63 A Rango de temperatura: -20 a 70 °C	\$2,120.00
3	3RU1136-4EB0 Marca: SIEMENS	Relé de sobre carga 	Resistencia a tensión de choque: 6 kV Pérdidas con valor asignado de la intensidad: 13.8 W Corriente máxima: 32 A Rango de temperatura: -20 a 70 °C	\$580.00
1	3RP1020-1AP30 Marca: SIEMENS	Relevador de tiempo 	Voltaje de operación: 240 V Margen de error: 0.05 a 1 s	\$700.00

				
1	3SB1201-0AE01 Marca: SIEMENS	Botón pulsador 	Potencia máxima: 2.5 W Voltaje de operación: 130 V Corriente máxima: 6 A	\$300.00
1	PM650 Marca: Power Logic	Medidor de potencia 	Medición de corriente de CA de 5A. Medición de voltaje de 220V o 440V. Medición de potencia activa, reactiva, aparente y energía.	\$2150.00
1	E99T0005 M 55 Marca: SIEMENS	Motor trifásico 	Caballos de fuerza: 5 HP Corriente máxima 12.6-12.2 A Eficiencia nominal: 82.5%	\$4,800.00

**Tabla 9.** Componentes y equipo disponible en la universidad.

Cantidad	Modelo	Observaciones	Características	Precio actual unitario (MXN)
1	LAY37 Marca: EARU ELECTRIC	Interruptor de botón de parada de emergencia	Autobloqueo, 1NO, 1NC, DPST, CA 660 V, 10 A	\$28.91

				
1	ST17VAH Marca: EARU ELECTRIC	Medidor combinado 	Rango de voltaje de medición: 20 ~ 500 V CA Rango de corriente de medición: 0 ~ 100 A Rango de corriente de medición: 0-100 Hz	\$55.55
1	XB2-ED33 Marca: EARU ELECTRIC	Interruptor de perilla giratoria 	Temperatura ambiente: -5 + 40 Humedad relativa: 45% ~ 85% Resistencia de contacto: $\leq$ 50m $\Omega$ Vida eléctrica 5.0x10 <sup>5</sup> Tensión que soporta: 2500V, 1min Grado de protección: IP40 Tensión nominal de aislamiento, Ui: 660V Corriente térmica convencional, Ith: 10A	\$28.94
10	AD16 Marca: ZHENGYICH ENG	Lámparas piloto	AC DC 110V 220V	\$20.34

				
10	<p>XB2-BA31 / XB2-BA42 Marca: GENGY</p>	<p>Interruptor de Botón Pulsador Momentáneo NA/NC</p> 	<p>Tamaño del orificio de montaje: 22 mm Corriente de contacto: 10A Interfaz de usuario: 600 V Verde, 1NO Rojo, 1NC</p>	\$26.40
2	<p>3SB1212- 6B306 Marca: SIEMENS</p>	<p>voltímetro</p> 	<p>potencia nominal: 0,5 W Voltímetro de CA con pantalla digital + lámpara de señal Rango de voltaje de medición: AC60-500V (medición 220V directa FireWire línea cero/380V directa 2 FireWire) Temperatura ambiente de trabajo: -25 ~ +65 centígrados</p>	25.98
10 pares	<p>Marca: LOCHEUK</p>	<p>Conectores banana Hembra-Macho</p> 	<p>Material: ABS, Metal Nickel Plated</p>	\$7.72
20	<p>PTTB 2.5 Marca: W.DE</p>	<p>Bloque doble de terminales de carril</p>	<p>Corriente máxima: 22A</p>	\$8.31

		<p>Din</p> 	<p>Voltaje máximo: 500V</p>	
20	<p>PT 2.5 Marca: W.DE</p>	<p>Bloque de terminales de carril Din</p> 	<p>Corriente máxima: 22A Voltaje máximo: 500V</p>	\$4.41
2	<p>VE186 Marca: LOSUYINE</p>	<p>Interruptor de palanca</p> 	<p>Voltaje de funcionamiento: 12V Tensión máxima de resistencia: 250V</p>	\$25.96
1	<p>ZB2-BE102C Marca: Desconocida</p>	<p>Botón pulsador</p> 	<p>Corriente máxima: 6 A Voltaje máximo 600 V Resistencia a tensión de choque: 6 kV</p>	\$52.10
40		<p>Adaptadores de montaje de riel DIN.</p> 		\$5.90

3	Samwha-Dsp ERV-08		\$75.00
---	----------------------	---	---------

**Tabla 10.** Componentes y equipo adquirido.

### 3.2 Modelado y simulación

A continuación, se describe como se definieron las técnicas y software utilizado para el modelado y simulación del proyecto, basado en los requerimientos funcionales previstos.

#### **Modelado del tablero físico:**

Para definir el gabinete a usar se partieron de dos modelos comerciales de gabinetes. En la Figura 46 se muestra un gabinete prefabricado, el cual consta de una estructura cerrada, metálica. Estos gabinetes se fabrican en un entorno controlado y se entregan al sitio de instalación listos para su uso, lo que agiliza significativamente el proceso de montaje y puesta en marcha de un sistema eléctrico, sin embargo, los precios son desde \$18,000 y llegando hasta \$53,000 o más.

Una cotización a una empresa mexicana comercializadora de equipo eléctrico y servicio de ingeniería e integración (Asesor Eléctrico S.A. de C. V. [29]) con más de 30 años en el mercado fue de \$26,594.33 más impuestos, siendo un gabinete con dimensiones 2000 x 1000 x 400 mm, similar al tablero objetivo.

En la Figura 47 se muestra un mueble con panel de montaje, este posee una superficie plana, generalmente de material no conductor, diseñada para servir como base para la instalación y fijación de componentes electrónicos y eléctricos. A pesar de que estos muebles son cómodos para trabajar son más de uso escolar, y se busca que la interacción con la herramienta de prácticas sea lo más apegada a lo encontrado en la industria. Se desconoce su precio.



**Figura 46.** Gabinete Autosoportados Serie NEO. Fuente: Industrial Systems.

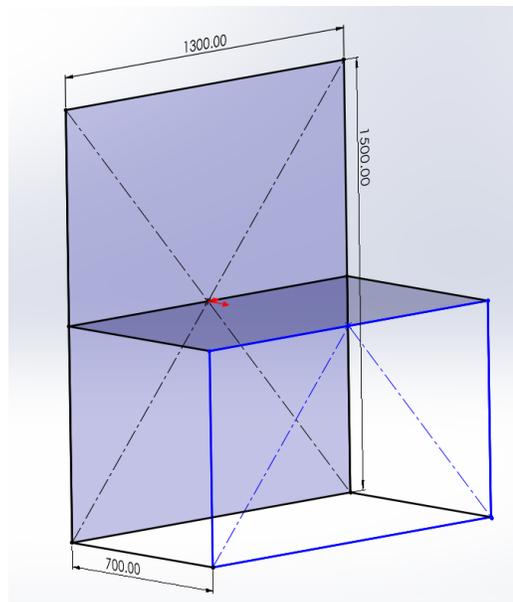


**Figura 47.** Panel de montaje, grupo hidráulico y complementos. Fuente: SMS International Training.

En la Figura 48 se muestra la primera versión de diseño que se planteó inspirándose en la idea de diseño que se muestra en la Figura 47, sin embargo, esta idea fue descartada debido a que el costo de construcción estaba fuera del presupuesto según lo consultado con diferentes proveedores.

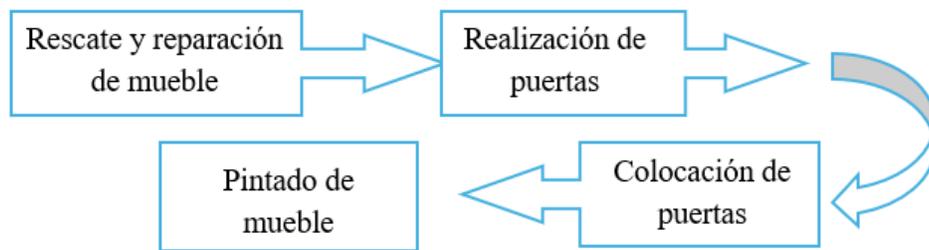
Proveedor	Precio	Tiempo de espera
Proveedor 1	\$4,700.00	3 semanas
Proveedor 2	\$5,300.00	2 semanas

**Tabla 11.** Cotización de construcción de panel con dos proveedores.



**Figura 48.** Primera versión de diseño. Fuente: del autor.

La adquisición de un gabinete eléctrico prefabricado también resultaba económicamente inviable. Sin embargo, surgió la alternativa de restaurar un mueble en desuso y reacondicionarlo. El mueble en cuestión era una alacena con entrepaños, en la que se identificó el potencial para transformarlo en un gabinete eléctrico. El proceso de restauración se detalla en la Figura 49 siguiendo a medida de lo posible las normas de construcción de tableros para lograr un resultado similar a un gabinete prefabricado, garantizando así la calidad y seguridad del mismo.



**Figura 49.** Proceso de restauración de mueble.

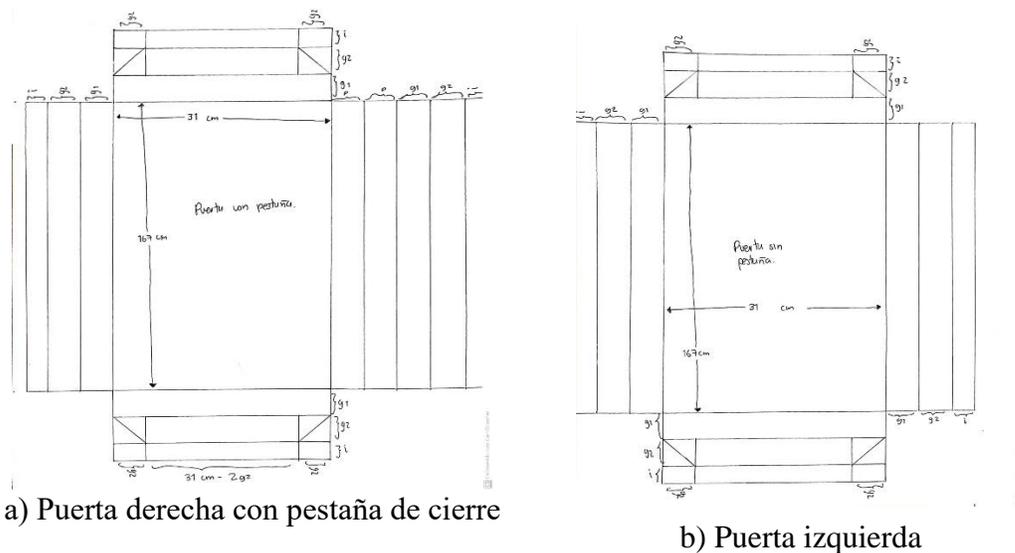


**Figura 50.** Proceso de restauración de mueble.

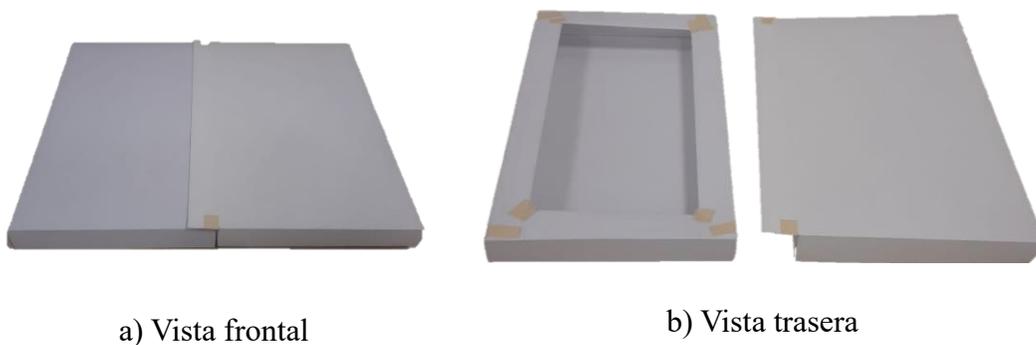
Del mueble original se rescató la estructura base, por lo que fue necesario diseñar y construir las puertas que se le adaptarían, para ello se adquirió lámina galvanizada, la cual tenía mejores beneficios que la lámina negra, y se consideró ideal a pesar de ser más costosa, Figura 50.

La construcción de las puertas del mueble se basó en la estructura original del mismo. A partir de ella, se efectuaron mediciones precisas y se desarrollaron planos detallados

para el corte de las láminas. En una primera etapa, los planos se elaboraron de forma manual con el objetivo de obtener una visión clara del diseño, los cuales se muestran en la Figura 51. Posteriormente, se construyó una maqueta a escala de las puertas para verificar la correcta ejecución del plano, Figura 52.

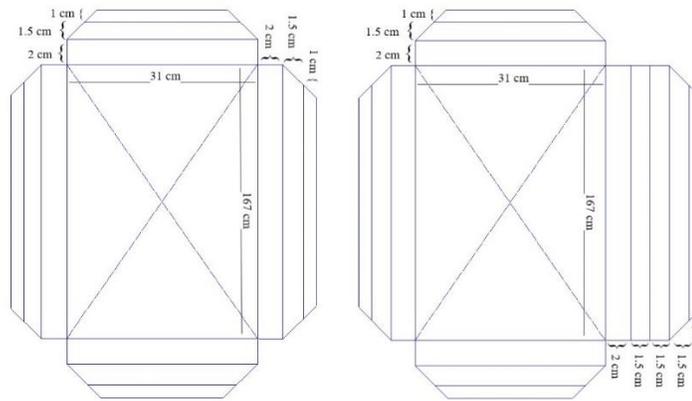


**Figura 51.** Planos iniciales de las puertas.



**Figura 52.** Maqueta a escala de las puertas.

A partir de los planos y la maqueta, se trazó el plano en la lámina que posteriormente fue cortada y doblada para obtener las puertas del mueble. Se desarrolló el plano de las puertas en SolidWorks, ver Figura 53.

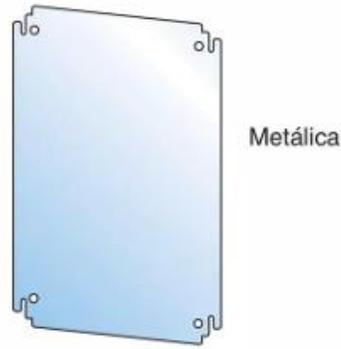


**Figura 53.** Plano de puertas desarrollado en SolidWorks.

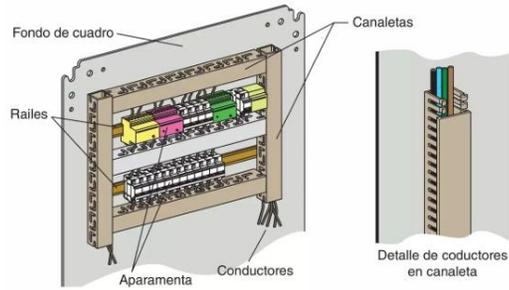
Una vez completado el diseño, cortado y doblado de las puertas, se montaron en el mueble base. Posteriormente se pintó y se le colocó los pestillos y la chapa. El gabinete fue pintado de color RAL 7035 – Gris luminoso. Este es un color estándar de los armarios y cajas de distribución eléctricas.

Según Juan Carlos Martín y María Pilar García en su libro “Automatismos industriales” [30], un gabinete eléctrico debe tener con fondo una placa de fondo. Las placas son utilizadas como fondo en armarios tipo cofre para alojar elementos de automatismos, tanto cableados como programados [19].

En el mercado existen varios tipos de placas para la fijación de elementos y canalizaciones, la más común y la utilizada en el TDIPEyEI es una placa lisa metálica (Figura 54). Esta es necesaria para la fijación de los elementos que intervienen en la composición del tablero. Por lo antes dicho, se colocó una lámina de fondo lisa metálica en la pared frontal interior del TDIPEyEI. En ella posteriormente se montan los rieles DIN y las canaletas, herramientas básicas en un tablero eléctrico como se muestra en la Figura 55.



**Figura 54.** Lámina de fondo lisa metálica.



**Figura 55.** Componentes en la lámina de fondo.

En la Tabla 12 se muestran los materiales usados para la implementación completa del tablero.

<b>Cantidad</b>	<b>Modelo</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Características</b>	<b>Precio actual unitario (MXN)</b>
10	715 Marca: PHILIPS	Bisagra de latón 	Alto: 38 mm Ancho: 33 mm Espesor: 1 mm	\$13.00
1 paquete	R-52B Marca: FIERO	Remaches 	Diámetro: 3.9 mm Máximo agarre: 3.1 mm	\$32.00
2		Lamina lisa galvanizada 	Alto: 183 cm Ancho: 91 cm Calibre: 22	\$360.00

3 m	Marca: VIDONIA	Riel DIN 	35 mm	\$53.60
2		Pestillo para puerta 		\$40.00
1		Cerradura 		\$55.00
1 L	RAL 7035			\$240.00
6 m	078- DXN10062		Altura x Ancho x Profundidad x Largo: 40 mm x 40 mm x 40 mm x 2 m	\$90
4			Terminales	\$8.00

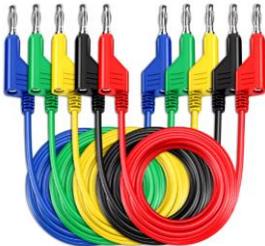
2 m		Malla organizadora de cable	\$60.00
15 m		Cable 14AWG $I_{\phi 3\max} = 15 A$	\$10.00
5		Cables de prueba (100 cm) de conector banana 14 AWG $I_{\phi 3\max} = 15 A$	\$48.00
10		Cables de prueba (50 cm) de conector banana 16 AWG $I_{\phi 3\max} = 13 A$	\$20.00

Tabla 12. Material utilizado para la construcción del mueble.

## Modelado de módulos para lámparas e interruptores pulsadores

Las lámparas y pulsadores utilizados en la industria normalmente son para montaje sobre lámina, por lo que no son aptas para montaje en riel DIN. Por lo tanto, se diseñó una base para colocar las lámparas y los pulsadores en el riel.

Los módulos de montaje para las lámparas y los botones pulsadores fueron hechos con acrílico y se moldearon utilizando una dobladora de calor, a éstos se adaptaron bornes de conexión para cables con punta banana, así mismo se realizaron cables con este tipo de conexión. En la Figura 56, Figura 57 y Figura 58 se muestra el resultado final de los módulos realizados.



**Figura 56.** Lámparas y botones con la base diseñada.



**Figura 57.** Vista frontal de los módulos.

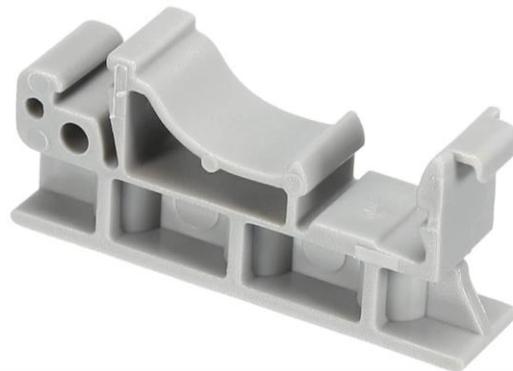


**Figura 58.** Módulos montados en el riel.

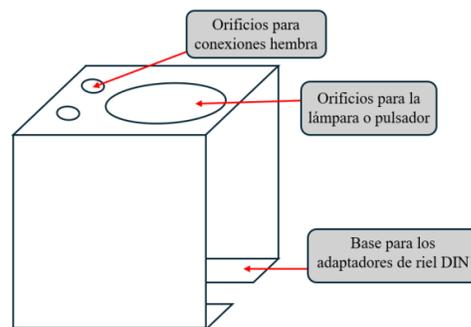
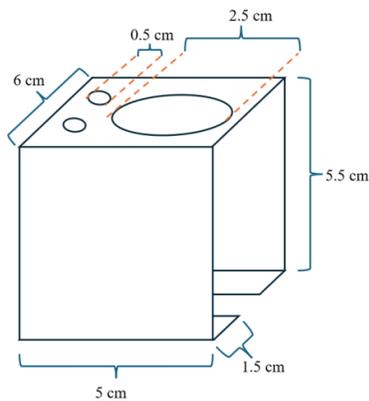
A los módulos de montaje se les colocaron adaptadores de montaje para riel DIN en la base, éstos se muestran en la Figura 59 y Figura 60. En la Figura 61 y Figura 62 se muestra el diseño de los módulos utilizados y sus medidas.



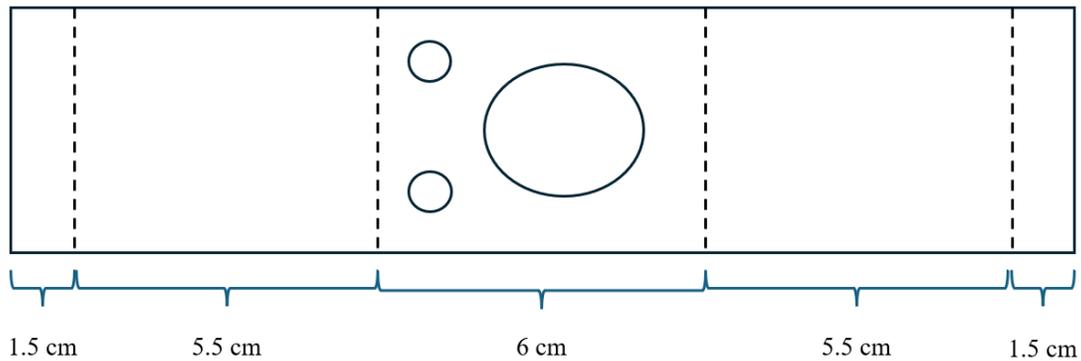
**Figura 59.** Adaptadores de montaje en riel DIN.



**Figura 60.** Adaptador de montaje para riel DIN.

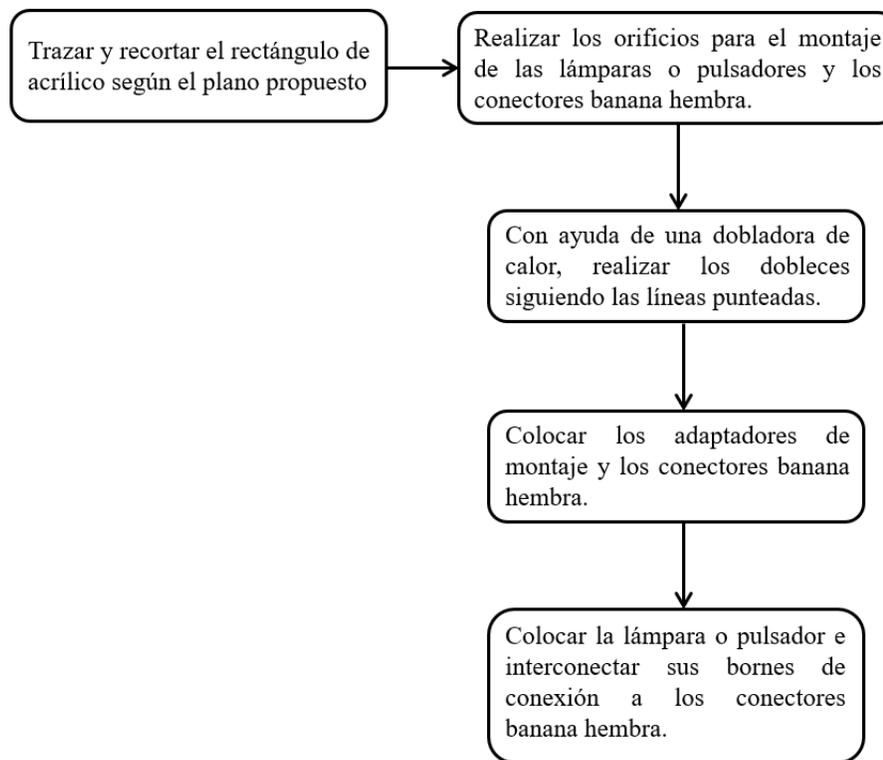


**Figura 61.** Diseño de módulos para montaje de lámparas y pulsadores.



**Figura 62.** Plano para módulos de montaje de lámparas y pulsadores.

Para replicar el diseño de los módulos se recomienda seguir la metodología descrita en la Figura 63, haciendo los dobleces sobre el rectángulo de acrílico de izquierda a derecha.



**Figura 63.** Metodología para desarrollo de módulos de montaje.

## Modelado de las prácticas propuestas

Las prácticas a simular en el tablero fueron definidas en base a la lista de componentes disponibles, se muestra la lista propuesta de prácticas en la sección de Planteamiento y en la sección 8.1. Las prácticas fueron simuladas en el entorno de simulación CADe SIMU.

En esta etapa se realizó el manual de prácticas para la realización de estas, el cual será parte del producto final a entregar.

### Formatos de guías de prácticas:

Las guías de prácticas son documentos esenciales que brindan instrucciones detalladas sobre cómo realizar una tarea o procedimiento específico. Existen diferentes formatos para las guías de prácticas como guías textuales, guías con imágenes, guías con diagramas, guías de video y guías interactivas. En la Tabla 13 se comparan algunos formatos para analizar su factibilidad en este proyecto.

Tipo de formato	Ventajas	Desventajas	Factible
<b>Guías textuales:</b>  Texto plano para describir todos los pasos del procedimiento.	Fácil de crear y modificar, accesible para cualquier persona que pueda leer.	Puede ser difícil de seguir si los pasos son complejos o si no hay imágenes para ilustrarlos.	Si
<b>Guías con imágenes:</b>  Similar a las guías textuales, pero incluyen imágenes o fotografías para ilustrar los pasos del procedimiento.	Fácil de crear y modificar, accesible para cualquier persona que pueda leer.	Requiere más tiempo y esfuerzo para crear, puede ser difícil encontrar imágenes adecuadas.	Si
<b>Guías con diagramas:</b>  Utilizan diagramas o dibujos técnicos para ilustrar los pasos del procedimiento.	Útiles para procedimientos complejos o técnicos donde las imágenes no son suficientes.	Requiere habilidades de dibujo o acceso a herramientas de dibujo, puede ser difícil de entender para personas	Si

		no familiarizadas con los diagramas técnicos.	
<b>Guías en video:</b> Presentan los pasos del procedimiento en formato de video, utilizando narración y demostraciones visuales.	Muy atractivas y fáciles de seguir, permiten observar en detalle cómo se realiza el procedimiento.	Requiere equipo de grabación y edición de video, puede ser más lento de consultar que una guía textual.	Tal vez
<b>Guías interactivas:</b> Utilizan software o herramientas web para crear guías interactivas, permitiendo al usuario interactuar con el contenido.	Altamente atractivas y personalizables, permiten al usuario practicar el procedimiento de forma virtual.	Requiere conocimientos de programación o acceso a herramientas de creación de contenido interactivo, puede ser más costoso de desarrollar.	No

**Tabla 13.** Formatos de guías de prácticas [31].

Se planteó utilizar una combinación de los formatos considerados factibles en la tabla anterior, para crear una guía efectiva y fácil de entender. El formato es estándar para todas las prácticas y de creación propia considerando el tiempo, el presupuesto y las habilidades disponibles para su creación.

Las guías de prácticas contienen: Preguntas de verificación (Permiten al usuario verificar que se han completado todos los pasos del procedimiento), definición de términos (Definen términos técnicos o especializados que se utilizan en la guía), explicación de funcionamiento de los circuitos (Responden a preguntas comunes que los usuarios pueden tener sobre el procedimiento) y Recursos adicionales (Proporcionan enlaces a información adicional relacionada con el procedimiento). A partir de lo anterior se llegó a un formato combinado de guías textuales, con imágenes y con diagramas, además se complementaron con guías de video.

### 3.3 Prototipo físico

En las secciones anteriores se describió el diseño del tablero de pruebas, así como los módulos necesarios para el desarrollo de las prácticas, adicionalmente se realizó la conexión del tablero a la fuente de alimentación trifásica, en las figuras se muestra el resultado final, Figuras 62 y 63.



**Figura 64.** Vista general del TDIPEyEI.



**Figura 65.** Vista interior del TDIPEyEI.

### **3.3.1 Pruebas de componentes**

Antes de hacer pruebas físicas de las prácticas se hicieron pruebas de cada uno de los dispositivos y equipo disponible, en esta fase se verificó el óptimo funcionamiento de estos.

Entre las etapas de pruebas de componentes y pruebas del sistema se realizaron las pruebas físicas de las prácticas propuestas, guiándose del manual de prácticas realizado en la fase anterior, además se hizo la construcción del tablero basándose en las especificaciones planteadas en la primera fase de la metodología.

Una vez concluido el diseño, se continuó la implementación física del tablero eléctrico. En esta etapa se montaron los componentes en el tablero de pruebas de acuerdo con el diseño previamente realizado, se realizaron las conexiones eléctricas entre los componentes utilizando cables y conectores adecuados y se verificaron que todas las conexiones fueran correctas y seguras. Se elaboró la documentación técnica del tablero eléctrico, incluyendo diagramas eléctricos, esquemas de conexión y manuales.

### **3.3.2 Pruebas del sistema**

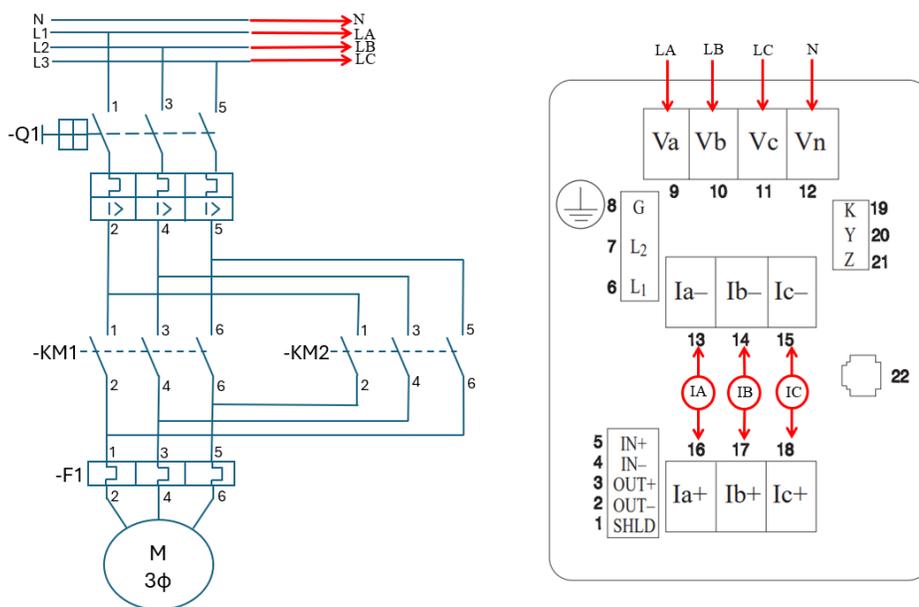
Las prácticas propuestas fueron probadas en el TDIPEyEI, demostrando correcta funcionalidad. Las pruebas se realizaron siguiendo el manual de prácticas y las guías de vídeo por lo tanto se garantiza que todas las prácticas funcionan.

La práctica 11, diseñada para la medición de variables eléctricas, constituye un componente fundamental de este proyecto. En esta práctica se empleó un medidor de potencia PowerLogic 650 para realizar mediciones de los sistemas trifásicos estudiados en las prácticas 8, 9 y 10.

El dispositivo está fijo en el TDIPEyEI, y ha quedado configurado para que el usuario no requiera hacer una conexión adicional. El dispositivo se conectó a las líneas y el neutro de la fuente trifásica, por lo tanto, el usuario podrá hacer mediciones de la fuente de alimentación trifásica incluso antes de implementar cualquier práctica de sistemas trifásicos (prácticas 8, 9 y 10) u otra.

Al implementar cualquiera de las prácticas de sistemas trifásicos propuestas, el usuario podrá realizar las mediciones a su sistema, únicamente realizando sus circuitos de control y de potencia y siguiendo los pasos descritos en el manual de la práctica 11 que ha sido generalizado para medir variables eléctricas de cualquier sistema trifásico.

En la figura 64 se muestra el diagrama de conexiones del medidor de potencia para la práctica 9, sin embargo, la diferencia del circuito de conexiones para las otras prácticas será su circuito de potencia, pues como se mencionó anteriormente, las conexiones se realizan a la fuente de alimentación trifásica, por lo tanto, no se tiene influencia al circuito de potencia o control que sea desarrollado.



a) Conexiones en el circuito de potencia

b) Conexiones en el medidor de potencia PM650 [26]

**Figura 66.** Diagrama de conexiones

# Capítulo 4

---

## Resultados

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos durante el desarrollo de la tesis. Entre los principales se encuentran el diseño y construcción del gabinete que contiene el TDIPEyEI, la elaboración de un manual de prácticas que se adjunta como apéndice y la creación de material audiovisual relacionado con el desarrollo del proyecto y de las prácticas, subido a la plataforma “YouTube”.

En la sección de metodología se presentaron las Tablas Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 12, en ellas se enlistan los “Componentes y equipo disponible en la universidad. Componentes y equipo adquirido. Material utilizado para la construcción del mueble. En la última columna de estas tablas se presentan los precios actuales, dando una estimación total en precio de \$32,793.18 MXN para el TDIPEyEI completo.

Descripción	Estimación en pesos mexicanos
Componentes y equipo disponible en la universidad	\$28,564.00
Componentes y equipo adquirido	\$1529.38
Material utilizado para la construcción del mueble	\$2599.80
Total	\$32,793.18

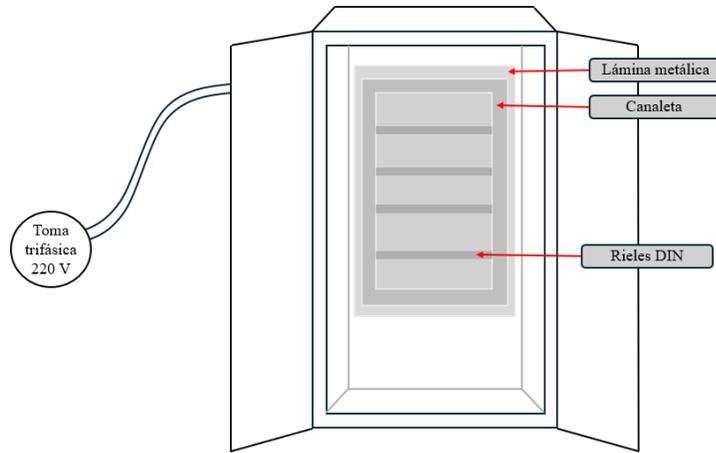
**Tabla 14.** Estimación total en precio.

### 4.1 Gabinete del TDIPEyEI

En la sección 3.2 (Modelado y simulación) se explicó cómo se diseñó y desarrolló el TDIPEyEI. De manera general se describe la estructura interna de este en la Figura 67. Los requerimientos funcionales y no funcionales planteados para el desarrollo del tablero se cumplieron.



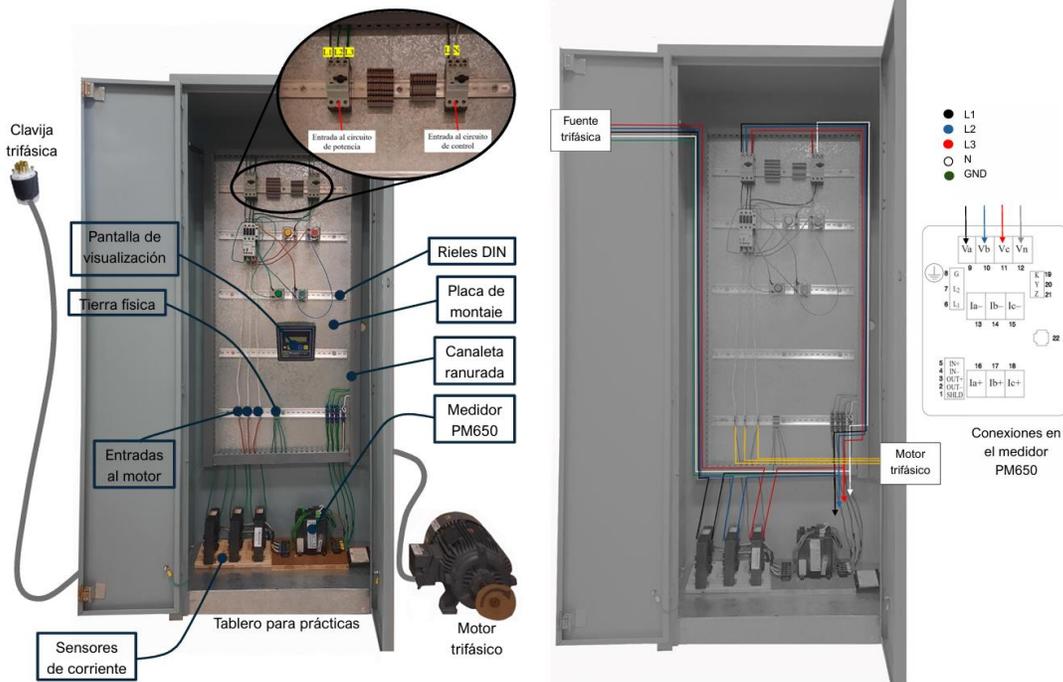
a) Vista real del TDIEyEI.



b) Descripción de elementos del TDIEyEI.

**Figura 67.** Estructura general del TDIEyEI.

Con el objetivo de que el usuario identifique fácilmente la manera en que está organizado el tablero se realizaron dos diagramas de organización, uno que indica como están organizados los elementos del tablero (Figura 68.a) y otro donde se indica como están organizadas las conexiones cableadas que pasan a través de la canaleta (Figura 68.b). Estos diagramas están colocados en la parte interna de una puerta del TDIEyEI para tener rápido acceso a ellos.



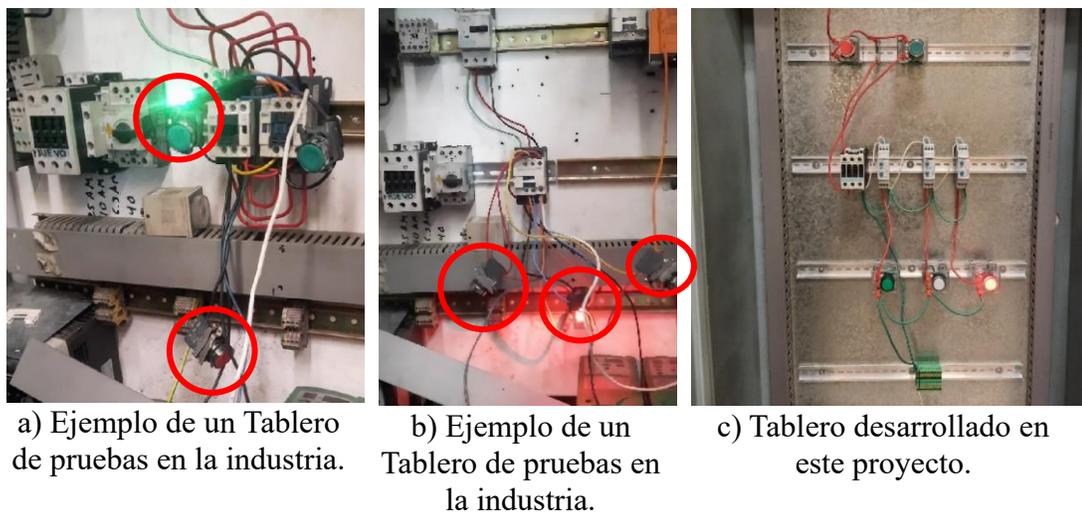
a) Elementos

b) Cableado

**Figura 68.** Estructura del TDIEyEI, componentes y conexiones.

Como complementos del TDIPEyEI se realizaron 11 módulos de montaje a riel DIN para lámparas e interruptores pulsadores, los cuales son suficientes para realizar las prácticas propuestas.

En la Figura 69 se muestra la implementación de una práctica propuesta en este proyecto en comparación con cómo lucen algunas prácticas desarrolladas en tableros de la industria. Los módulos de montaje desarrollados ofrecen al usuario una herramienta organizada y segura que no se tiene en tableros de pruebas convencionales, en la industria generalmente las lámparas y botones quedan colgados, y aunque es funcional no es seguro ni organizado.



**Figura 69.** Tablero desarrollado vs tableros de prueba en la industria.

Como parte final del proyecto se instaló el medidor de potencia Powerlogic PM650, quedando fijo en el TDIPEyEI, con este equipo los usuarios podrán hacer mediciones de voltaje, corriente, potencia, frecuencia, y algunos otros parámetros interesantes que ayudarán a comprender el comportamiento de circuitos eléctricos. Esto además de dar uso a este equipo disponible en la institución, complementa el aprendizaje en las prácticas objeto de estudio.

En las Figura 70 a la Figura 73 se muestran algunas mediciones realizadas con el medidor PM650 y con un multímetro con amperímetro de gancho Modelo ST180 marca ANENG. Las mediciones realizadas con el medidor PM650 ofrecen al usuario una lectura más rápida de los parámetros al estar fijo, a comparación de un multímetro convencional, especialmente si no se cuenta con el amperímetro de gancho, pues mediciones de corriente implican realizar ajustes a las conexiones. Además, el medidor PM650 ofrece parámetros que un multímetro convencional no, como factor de potencia, calidad de la energía entre otros y guarda un registro de todos los parámetros mínimos y máximos registrados.

Como se puede ver en las figuras 67 y 68, el amperímetro de gancho mide una corriente de 3.69 A (medición realizada en la línea uno de la fuente de alimentación trifásica) y el medidor PM650 mide 4 A en las tres líneas de la fuente trifásica.

En las mediciones de voltaje mostradas en las figuras 69 y 70 el multímetro se observa un voltaje de 124.7 V (medición realizada en la línea tres de la fuente de alimentación trifásica) y el medidor PM650 arroja mediciones de 126 V, 129 V y 128 V para las líneas 1, 2 y 3 respectivamente (equivalentes a las líneas a, b y c en la pantalla de visualización del medidor PM650). Así mismo, el medidor PM650 muestra las mediciones de voltaje entre las líneas, arrojando mediciones de 221, 222 y 220 V respectivamente.

Con esto se observa que el amperímetro es más exacto; sin embargo, el medidor de potencia es más versátil y tiene una mayor cantidad de mediciones y como está montado en el tablero directamente se tienen las mediciones de todas las variables eléctricas.

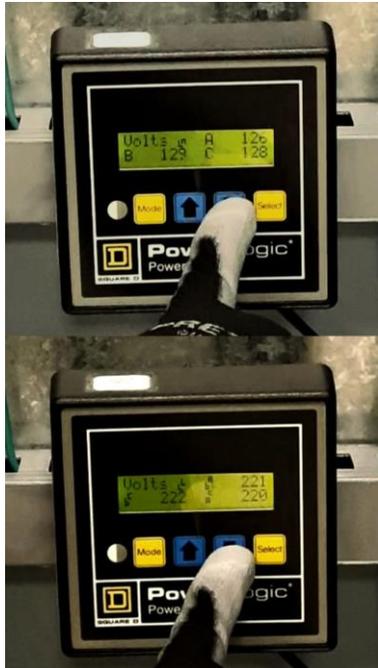
Se desarrollaron las prácticas propuestas, incluyendo el diseño del circuito, la simulación, la implementación y las guías para cada una de ellas tanto en el manual como en formato de video. Se muestra la estructura de las guías de práctica en la Figura 74 y se describe en la siguiente subsección.



**Figura 70.** Medición de corriente con medidor PM650.



**Figura 71.** Medición de corriente amperímetro de gancho.



**Figura 72.** Medición de voltaje (L-N y L-L) con medidor PM650.



**Figura 73.** Medición de voltaje con voltímetro (L-N).

## 4.2 Prácticas del TDIPEyEI

En la Figura 74 se señala cada subsección de una práctica aleatoria, esta estructura es estándar y se comparte en todas las prácticas.

### A. Título de la práctica

Proporciona un nombre claro y conciso que identifique el experimento o actividad a realizar.

### B. Objetivos de la práctica

Se describen los propósitos que se persiguen con la práctica. ¿Qué se espera que el estudiante aprenda o compruebe?

### C. Materiales a utilizar

Se da una lista detallada de todos los elementos necesarios para realizar la práctica, incluyendo herramientas, equipos y dispositivos.

### D. Desarrollo de la práctica

En esta sección se detallan los pasos a seguir para realizar la práctica.

D1. Diagramas de imágenes de los circuitos: se muestran representaciones gráficas desarrolladas de los circuitos a construir, facilitando la comprensión de las conexiones.

D2. Paso a paso de las conexiones: Se enlistan las instrucciones claras y concisas sobre cómo conectar los componentes, incluyendo diagramas o imágenes si es necesario.

## E. Sección de pruebas

Explica cómo verificar si el circuito funciona correctamente y cómo interpretar los resultados obtenidos.

## F. Explicación de funcionamiento

En esta sección se explica el principio de funcionamiento de los circuitos o componentes involucrados en la práctica.

## G. Preguntas de discusión

Se hacen preguntas que invitan a la reflexión y al análisis de los resultados obtenidos.

## H. Referencias a las guías de video y otros

Se enlaza materiales complementarios (guías de videos), o materiales adicionales que puedan ayudar al estudiante a comprender mejor la práctica.

Manual de prácticas del proyecto de tesis "Diseño y construcción de un tablero para prácticas de electricidad y electrónica industrial"

### PRÁCTICA 7 ENCENDIDO SECUENCIAL DE TRES LÁMPARAS

En esta práctica, los estudiantes reforzarán lo aprendido acerca de relés temporizados. Comprenderán cómo pueden ser aplicados en diferentes situaciones y cómo se pueden utilizar para introducir retardos en la conexión de dispositivos eléctricos como lámparas y el alcance que estos tienen.

Aprenderán a diseñar y construir circuitos eléctricos que incluyan elementos temporizados. Esto implica comprender cómo conectar y configurar correctamente los relés temporizados en un circuito eléctrico para lograr el efecto deseado.

**OBJETIVOS**

Objetivo general

- Aprender los principios básicos de funcionamiento de un relé de tiempo con retardo a la conexión.

Objetivos específicos

- Comprender el diseño de circuitos eléctricos con retardos y su aplicación en situaciones reales.
- Desarrollar habilidades útiles en el campo de la ingeniería eléctrica y la automatización.
- Conectar e instalar un relé de tiempo para encender una lámpara.

• Explicar los principios básicos de funcionamiento de un relé de tiempo con retardo a la conexión.

**MATERIALES**

- Un contactor
- Tres lámparas piloto
- Un pulsador normalmente abierto
- Un pulsador normalmente cerrado
- Tres relés de tiempo con retardo a la conexión
- Cables eléctricos
- Herramientas básicas (pelacables, destornilladores)

**DESARROLLO**

29

A

B

C

D

Manual de prácticas del proyecto de tesis "Diseño y construcción de un tablero para prácticas de electricidad y electrónica industrial"

Los dispositivos utilizados en esta práctica se enlistan en la sección de materiales y pueden identificarse en las Figuras 28 y 29. En la figura 24 se describe el funcionamiento del relé a utilizar (relé de tiempo con retardo a la conexión) y en la figura 29 se muestra la simbología de un relé de tiempo retardado a la conexión. Siga los pasos descritos a continuación. Tome como guía las Figuras 28, 29 y el material de apoyo sugerido. Se recomienda replicar el circuito de la Figura 28 en el simulador CADe SIMU.

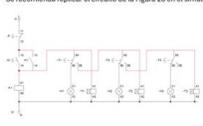


Figura 28. Circuito de conexión.

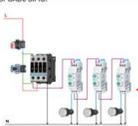


Figura 29. Circuito de conexión

1. Identifique los bornes de conexión de todos los elementos que componen el circuito.
2. Verifique que los cables de línea y neutro estén desenergizados.
3. Coloque todos los dispositivos a utilizar en los rieles DIN del tablero.
4. Conecte el cable de línea hacia el pulsador de paro y serne a él, conecte el pulsador de marcha.
5. Conecte el pulsador de marcha en paralelo con el primer contacto NA del contactor.
6. Conecte el borne inferior del relé de marcha hacia el borne A1 del contactor.
7. Conecte el borne inferior del primer contacto del contactor hacia el borne A1 y 2 del primer relé temporizador.
8. Conecte el borne 3 del primer relé temporizador hacia el borne A1 y 2 del segundo relé temporizador.
9. Conecte el borne 3 del segundo relé temporizador hacia el borne A1 y 2 del tercer relé temporizador.
10. Conecte cada lámpara piloto a cada borne 1 de cada relé temporizador.



Figura 30. Bornes de conexión del relé temporizador.

30

D1

D2

11. Conecte los extremos de las lámparas y los bornes A2 de las bobinas hacia el cable de sueno.
12. Verifique las conexiones guiándose de la figura 28 o 29.
13. Configure el tiempo de cada relé temporizador a 5 segundos.
14. Energice el circuito

**PRUEBAS**

Presione una vez el pulsador de marcha	¿Las lámparas encendieron secuencialmente 5 segundos cada una?	SI	NO
Presione una vez el pulsador de marcha y cuando aún no se concluye el ciclo de secuencia de las tres lámparas presione el pulsador de paro.	¿La lámpara que estaba encendida se apagó definitivamente?	SI	NO

Si la respuesta a una o dos de las preguntas fue "NO", desenergice el circuito y verifique las conexiones nuevamente.

**EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO**

Cuando se aplica energía al circuito, presionando el pulsador de marcha, la energía suministrada al circuito llega al relé temporizado. Tras recibir energía, el temporizador del primer relé comienza a contar el tiempo de retardo preestablecido durante este tiempo la primera lámpara está encendida y las otras dos apagadas.

Una vez concluido el tiempo los contactos del primer relé conmutan permitiendo que la corriente fluya hasta llegar al segundo relé se energice, el temporizador del segundo relé comienza a contar el tiempo de retardo preestablecido, durante este tiempo la segunda lámpara está encendida y las otras dos apagadas.

Una vez concluido el tiempo los contactos del segundo relé conmutan permitiendo que la corriente fluya hasta llegar al tercer relé y se energice, el temporizador del tercer relé comienza a contar el tiempo de retardo preestablecido durante este tiempo la tercera lámpara está encendida y las otras dos apagadas.

Una vez concluido el tiempo los contactos del tercer relé conmutan y la tercera lámpara se apaga.

Al repetir el proceso y presionar el pulsador de paro, se interrumpe completamente el flujo de energía a cualquiera de las bobinas, por lo tanto, el proceso se interrumpe.

En resumen, el funcionamiento del circuito para encender una lámpara con retardo a la conexión implica el uso de un relé temporizado que introduce un retardo controlado en la activación de la lámpara después de recibir una señal de activación inicial. Este retardo permite ajustar el tiempo entre la activación del circuito y la iluminación de la lámpara según las necesidades específicas de la aplicación.

**PREGUNTAS DE DISCUSIÓN**

1. ¿Qué factores podrían influir en la determinación del tiempo de retardo adecuado para este tipo de circuito?
2. ¿Cómo crees que se podría ajustar el diseño del circuito para adaptarse a diferentes situaciones de iluminación?
3. ¿Cuáles serían algunos posibles problemas o desafíos al implementar un circuito de este tipo y cómo se podrían abordar?
4. ¿Existen situaciones en las que un retardo en la conexión de la lámpara podría ser inconveniente o incluso peligroso?
5. ¿Cómo crees que este tipo de circuito podría contribuir a la eficiencia energética en un entorno residencial o comercial?

**REFERENCIAS**

Quitas de tipo: QR



Explicación de funcionamiento y simulación



Armado físico

¿Cómo funcionan los relés temporizadores?

Referencias:

**Figura 74.** Estructura del manual de prácticas.

En el manual de prácticas se incluyen imágenes de las simulaciones y se sugiere al usuario las replique antes de implementar la práctica de estudio. Los circuitos simulados obtenidos en las simulaciones mostraron correlación con los resultados experimentales. Esto valida la precisión del modelo desarrollado y demuestra su utilidad para predecir el comportamiento del sistema. El manual de prácticas completo se presenta en el anexo 2.

### 4.3 Canal de YouTube con prácticas del TDIPEyEI

Con frecuencia, los trabajos de investigación, como las tesis, quedan relegados a los estantes de bibliotecas o repositorios digitales, limitando su alcance y potencial de impacto. Sin embargo, en el presente estudio, se ha buscado trascender esta limitación al crear un canal de YouTube donde se han subido los resultados obtenidos. De esta manera, se garantiza la preservación a largo plazo de los conocimientos generados y se facilita su difusión a una audiencia más amplia.

Al día 9 de septiembre de 2024, se han creado veintidós videos con un total de 2 horas, 33 minutos y 20 segundos de contenido. Estos videos respaldan los resultados obtenidos y complementan el manual de prácticas. Estos están contenidos en una lista de reproducción titulada “Prácticas de Electricidad y Electrónica Industrial” donde se han organizado de forma que el aprendiz pueda ver la serie de videos de manera secuencial.

En las guías de video de cada una de las prácticas se explica el diseño de los circuitos, el funcionamiento de la simulación y la implementación física.

En la sección de bibliografía se encuentran los vínculos a las guías de video de las prácticas; Encendido simple de una lámpara con contactores [32] [33], Encendido con retención de una lámpara con contactores [34] [35], Encendido de dos lámparas con dos relés incompatibles pasando por paro [36] [37], Encendido de dos lámparas con dos relés incompatibles sin pasar por paro [38] [39], Encendido de una lámpara con retardo a la conexión [40] [41], Encendido/apagado cíclico de dos lámparas mutuamente excluyentes [42] [43], Encendido secuencial de tres lámparas [44] [45], Circuito de arranque directo de un motor [46], Circuito Inversor de Giro en motor trifásico [47] [48], Sistema automático para llenado de un tinaco [49], Medición de variables eléctricas en sistemas trifásicos [50]. Además, guías de apoyo adicionales para; leer la placa de un motor y calcular su corriente de arranque [51], simbología de dispositivos eléctricos [52], Relés temporizadores [18] y estructura general del TDIPEyEI [53].

A continuación, se muestran y describen métricas obtenidas en la plataforma de “YouTube” al día 09 de septiembre de 2024. La plataforma ha reconocido 13 países donde el material audiovisual ha sido visualizado, la lista de estos países se muestra en la Tabla 15, siendo México el país donde más se han reproducido los videos, siguiendo Argentina, Perú y Colombia. El total acumulado de visualizaciones en horas es de 331 horas en los últimos 28 días.

<b>País</b>	<b>Visualizaciones</b>
México	24.7%
Argentina	10.4%
Perú	9.3%
Colombia	8.5%
España	3.8%
Venezuela	3.4%
Chile	2.6%
Estados Unidos	2.2%
Bolivia	1.3%
Ecuador	1.1%
República Dominicana	0.9%
Puerto Rico	0.4%
Cuba	0.2%
Origen desconocido	21.2%
<b>Total en horas</b>	<b>100% = 331 horas</b>

**Tabla 15.** Visualizaciones del material audiovisual por área geográfica en los últimos 28 días.

Las personas que más visualizan el contenido audiovisual se encuentran en el rango de edad de 45 y 54 años, cubriendo un 27% de las visualizaciones. En la Tabla 16 se muestra la distribución por edades del resto de las visualizaciones. El material audiovisual no ha sido promocionado por lo que se considera que el crecimiento orgánico del canal ha sugerido los videos a personas con intereses similares.

<b>Rango de edad</b>	<b>Porcentaje</b>
Entre 13 y 17 años	-
Entre 18 y 24 años	3.5%
Entre 25 y 34 años	15.2%
Entre 35 y 44 años	22.3%
Entre 45 y 54 años	27.0%
Entre 55 y 64 años	21.4%
Más de 65 años	10.5%
Total	100%

**Tabla 16.** Rango de edad del público que visualiza los videos.

Del total de la población que reproduce los videos la mayoría son hombres, se muestran los respectivos porcentajes en la Tabla 17.

<b>Sexo del espectador</b>	<b>Visualizaciones (%)</b>
Mujer	6.7%
Hombre	93.3%

**Tabla 17.** Sexo del espectador.

De manera general, en los últimos 28 días el canal de “YouTube” ha tenido 4700 visualizaciones más de lo habitual, 281 horas de reproducción más que en los meses anteriores y un incremento de 222% en suscriptores, esto es más que en los 28 días anteriores, dando un total de 305 suscriptores, de los cuales 148 se han ganado en el último mes. Estas métricas se respaldan en la Figura 75.



**Figura 75.** Métricas en YouTube con corte al día 09 de septiembre de 2024.

## 4.4 Trabajo futuro

Como parte de la evaluación del proyecto se propone la impartición de un curso que pueda ser replicable a grupos reducidos de personas interesadas.

Cuando los estudiantes capacitados hayan hecho uso del tablero didáctico para desarrollar las prácticas planteadas con acompañamiento del manual y asesoría, se podrán evaluar los siguientes resultados:

- Que la implementación de las prácticas permita a los estudiantes adquirir habilidades prácticas en el diseño, construcción y prueba de circuitos eléctricos.
- Que los estudiantes demuestren una mejor comprensión de los principios de funcionamiento de los sistemas de control industrial.

Como trabajo futuro, se propone ampliar este estudio incluyendo un mayor número de prácticas y explorando la posibilidad de utilizar técnicas de lógica digital.

A continuación, se presenta la planeación del curso propuesto, esta planeación ha sido inspirada en opiniones de alumnos de licenciatura y siguiendo sugerencias de pedagogos que sugieren una experiencia didáctica para lograr un aprendizaje efectivo. Se propone que los cursos impartidos a corto plazo sean impartidos por el autor, sin embargo, se planea que puedan ser replicados e impartidos por alguien más a largo plazo.

Plan del curso

Nombre del curso
Taller para aprender Electricidad y Electrónica Industrial
Nombre del facilitador

<b>Duración del curso</b>
10 horas repartidas en 5 sesiones de 120 minutos cada una.
<b>Participantes</b>
Todos aquellos interesados en aprender Electricidad y Electrónica Industrial. Se sugiere que tengan mínimo conocimiento sobre mediciones eléctricas y un cupo máximo de 9 personas por curso.
<b>Objetivos del curso</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que el estudiante sea capaz de identificar los dispositivos básicos utilizados en la industria y comprenda su funcionamiento.</li> <li>• Que el estudiante sepa realizar las conexiones de los circuitos propuestos.</li> <li>• Que el estudiante comprenda los conceptos básicos de la lógica cableada: simbología, lectura de circuitos.</li> <li>• Que el estudiante aprenda a realizar mediciones eléctricas básicas en circuitos trifásicos y monofásicos</li> <li>• Que el estudiante comprenda la aplicación real de los circuitos desarrollados.</li> <li>• Que el estudiante sea capaz de desarrollar un problema propuesto planteado al final del curso.</li> </ul>
<b>Contenido</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Red Eléctrica trifásica y monofásica</li> <li>2. El contactor</li> <li>3. Simbología de dispositivos básicos</li> <li>4. Configuración de enclavamiento en el contactor</li> <li>5. Relevadores de tiempo</li> <li>6. Dispositivos de protección</li> <li>7. Motores de inducción trifásico <ol style="list-style-type: none"> <li>7.1 Placas de datos</li> <li>7.2 Cálculo de corriente de arranque</li> <li>7.3 Métodos de arranque de motores</li> </ol> </li> <li>8. Medición de variables eléctricas</li> <li>9. Aplicación de circuitos en situaciones reales</li> </ol>
<b>Metodología</b>
Este curso se desarrolla bajo la modalidad de taller, el participante realizará simulaciones, y una serie de ejercicios guiados por el facilitador del curso.
<b>Material y equipo necesario</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computadoras con software CADeSIMU.</li> <li>• TDIPEyEI y todo el equipo disponible en el Laboratorio de automatización y control ubicado en el edificio de Laboratorios Avanzados de electrónica en la UTM.</li> <li>• Pizarrón y marcadores.</li> </ul>
<b>Acreditación del curso</b>
Para que el participante acredite este curso deberá evidenciar: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Participación activa en cada sesión</li> <li>• La totalidad de los ejercicios resueltos</li> </ul>
<b>SESIÓN 1</b>

Actividad	Tiempo
Presentación del curso y sus objetivos	5 minutos
Explicación sobre la Red Eléctrica trifásica y monofásica: diferencias y aplicaciones. Se sugiere integrar al grupo haciendo preguntas básicas como: ¿Qué diferencia hay entre una red monofásica y una trifásica? ¿Por qué la mayoría de las viviendas utilizan una red monofásica y no trifásica?	10 minutos
Introducción a contactores Explicación de funcionamiento: Los participantes del curso interactúan físicamente con un contactor, identificando sus bornes de conexión. La práctica 1 deberá estar montada en el TDIPEyEI por lo que el asesor puede mostrarla al grupo para comprender el funcionamiento del contactor. Los participantes pueden interactuar encendiendo el circuito bajo la supervisión del asesor.	15 minutos
Simbología de dispositivos básicos El asesor enseña la simbología utilizada en contactores, lámparas piloto e interruptores (pulsadores, de palanca, de nivel, final de carrera).	15 minutos
Ejercicios de evaluación Examen rápido para que los estudiantes practiquen simbología básica de dispositivos. Se sugiere el examen puesto en el anexo 3.	10 minutos
Simulación en CADeSIMU Partiendo de la práctica uno donde se explicó el funcionamiento del contactor, se explica a los estudiantes el principio de enclavamiento en contactores y se replica la práctica 2 individualmente en CADeSIMU siendo guiados por el asesor.	15 minutos
Participación por equipos Se realizan 3 equipos de 3 integrantes, se coloca en el pizarrón 3 conjuntos de imágenes de los dispositivos necesarios en la práctica 2, por equipos realizan las conexiones necesarias con plumones identificando los bornes de conexión y basándose en la simulación previa realizada.	10 minutos
Se revisa que las conexiones realizadas por los estudiantes y posteriormente se modifican el circuito montado en el TDIPEyEI. Los participantes pueden interactuar encendiendo el circuito bajo la supervisión del asesor.	15 minutos
El asesor realiza el análisis de la práctica 3 y lo explica, luego pide a los estudiantes que lo modifiquen para realizar la práctica 4 y la simulen en CADe SIMU. Se revisa el trabajo en la siguiente sesión.	25 minutos

SESIÓN 2	
Actividad	Tiempo
Se revisa la práctica 4 simulada en CADe SIMU y se resuelven dudas si las hubieran.	20 minutos
Participación por equipos Se realizan 3 equipos de 3 integrantes, se coloca en el pizarrón 3 conjuntos de imágenes de los dispositivos necesarios en la práctica 5, por equipos realizan las conexiones necesarias con plumones identificando los bornes de conexión y basándose en la simulación previa realizada.	20 minutos
La práctica 4 deberá estar montada en el tablero por lo que los estudiantes pueden ver su funcionamiento.	10 minutos
Introducción a los relevadores de tiempo. Explicación de funcionamiento y tipos.	15 minutos
Ejercicios de evaluación Examen rápido para que los estudiantes identifiquen los tipos de relevadores de tiempo y su funcionamiento. Se sugiere el examen puesto en el anexo 4.	15 minutos
Se realiza la simulación de la práctica 5 individualmente en CADeSIMU siendo guiados por el asesor.	15 minutos
Retroalimentación Se resuelven dudas y se hacen algunas preguntas para interactuar con el grupo. Se sugiere integrar al grupo haciendo preguntas básicas como: ¿En qué aplicaciones se puede utilizar un relevador de tiempo con retardo a la conexión?	10 minutos
Participación por equipos Se realizan 3 equipos de 3 integrantes, se coloca en el pizarrón 3 conjuntos de imágenes de los dispositivos necesarios en la práctica 5, por equipos realizan las conexiones necesarias con plumones identificando los bornes de conexión y basándose en la simulación previa realizada.	15 minutos
SESIÓN 3	
Actividad	Tiempo
La práctica 5 deberá estar montada en el tablero por lo que los estudiantes pueden ver su funcionamiento.	10 minutos
Actividad por equipos Se plantea el problema de la práctica 6, en equipos proponen un circuito y lo exponen ante la clase dibujando su circuito en el pizarrón. Los circuitos propuestos se analizan y se corrigen si es necesario.	25 minutos.
Actividad por equipos Se plantea el problema de la práctica 7, en equipos proponen un circuito y lo exponen ante la clase dibujando su circuito en el pizarrón. Los circuitos propuestos se analizan y se corrigen si es necesario.	25 minutos

Implementación de prácticas por los estudiantes en el TDIPEyEI. Es importante enseñar las medidas de seguridad básicas antes de utilizarlo. Esta sesión se repite una hora con cada equipo. Las prácticas a implementar son las 6 y 7.	3 sesiones de 1 hora por equipo.
<b>SESIÓN 4</b>	
<b>Actividad</b>	<b>Tiempo</b>
Explicación del funcionamiento de los dispositivos de protección.	10 minutos
Todo sobre los Motores de inducción trifásicos: Placas de datos y cálculo de corriente de arranque.	15 minutos
Ejercicios de evaluación Examen rápido para que los estudiantes identifiquen los datos encontrados en una placa de un motor y calculen la corriente de arranque de un motor a partir de su placa. Se sugiere el examen puesto en el anexo 5.	10 minutos
Explicación de los tipos de representación de un circuito eléctrico: representación desarrollada, semidesarrollada y conjunta, además la representación multifilar y unifilar. Se explican las diferencias entre el circuito de control y el de potencia.	20 minutos
Se desarrolla y explica el circuito de control y potencia para el arranque directo de un motor trifásico (práctica 8).	10 minutos
Se realiza la simulación de la práctica 8 individualmente en CADeSIMU siendo guiados por el asesor.	15 minutos
La práctica 8 deberá estar montada en el tablero por lo que los estudiantes pueden ver su funcionamiento.	10 minutos
Con la participación del grupo se desarrolla y explica el circuito de control y potencia para la inversión de giro de un motor trifásico (práctica 9).	20 minutos
Se realiza la simulación de la práctica 9 individualmente en CADeSIMU.	10 minutos
<b>SESIÓN 5</b>	
<b>Actividad</b>	<b>Tiempo</b>
Se realiza los cálculos para la corriente de arranque de la práctica 9 para compararla con los resultados prácticos en la siguiente etapa.	20 minutos
Implementación de práctica 9 (Circuito Inversor de Giro en motor trifásico) por los estudiantes en el TDIPEyEI. Es importante enseñar las medidas de seguridad básicas antes de utilizarlo. Esta sesión se repite una hora con cada equipo. Se realizan mediciones de variables eléctricas con el medidor PowerLogic PM650 y se comparan con las simuladas.	3 sesiones de 40 minutos por equipo.
Actividad individual Se plantea el problema de la práctica 10 propuesto en el Anexo 6, el estudiante deberá proponer un circuito y mostrar su	1 hora.

simulación. Los circuitos propuestos se analizan y se corrigen si es necesario.	
---	--



# Capítulo 5

---

## Conclusiones

En este trabajo se desarrolló un conjunto de prácticas experimentales para la enseñanza de la electricidad y electrónica industrial, con el objetivo de facilitar la comprensión de los principios básicos de funcionamiento de los circuitos eléctricos y mejorar las habilidades prácticas de los estudiantes, usando infraestructura que ya existía en los laboratorios de la universidad y que estaban en desuso.

El desarrollo del gabinete para el Tablero Didáctico Interactivo para Prácticas de Electricidad y Electrónica (TDIPEyEI) se enfrentó a diversos desafíos debido a limitaciones presupuestarias que restringieron la adquisición de un gabinete industrial estándar. Ante esta situación, se optó por la restauración de un gabinete existente, lo cual implicó un proceso de diseño y construcción con ciertas restricciones técnicas.

Si bien se tomaron como referencia los gabinetes prefabricados, las limitaciones en recursos y la necesidad de adaptar el diseño a las dimensiones disponibles impidieron replicar una solución comercial. En consecuencia, el gabinete final, aunque funcional, no cumple estrictamente con todas las normas técnicas para este tipo de equipamiento.

La construcción del gabinete se llevó a cabo en los talleres de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, donde se utilizaron tanto las instalaciones del taller de metalmecánica como las del taller de carpintería. La estructura principal y las puertas se realizaron en metal, mientras que la base de la lámina lisa de fondo se fabricó en madera. A pesar de las limitaciones, el TDIPEyEI resultante cumple con su función principal de proporcionar un espacio seguro y organizado para la realización de prácticas de electricidad y electrónica industrial.

Se desarrolló un modelo de prácticas que permite a los estudiantes interactuar con los dispositivos eléctricos de manera similar a como lo harían en un entorno industrial real. El TDIPEyEI se encuentra ubicado en el laboratorio de automatización y control del edificio de Laboratorios Avanzados de Electrónica en la UTM. Este equipo está conectado a una fuente de alimentación trifásica y cuenta con todos los dispositivos necesarios para realizar las prácticas propuestas. Se recomienda a los usuarios seguir el manual de prácticas y realizar las actividades bajo la supervisión de un técnico o profesor.

Las prácticas propuestas permiten a los estudiantes adquirir conocimientos de manera gradual, desde conceptos básicos hasta circuitos industriales más complejos. Esta secuencia didáctica facilita la comprensión y el desarrollo de habilidades en el diseño, simulación e implementación de circuitos eléctricos. Para el desarrollo de estas prácticas se elaboró un manual y materiales audiovisuales que guían al estudiante a través de cada práctica. Estos recursos abarcan desde el diseño conceptual del circuito hasta su implementación física.

Los tableros eléctricos industriales no suelen montar lámparas e interruptores en rieles DIN, ya que los circuitos se encuentran ocultos y los elementos de control se exponen en la puerta del tablero. Sin embargo, con el objetivo de facilitar la comprensión y visualización de las conexiones, se optó por desarrollar módulos de montaje en riel DIN personalizados. Estos módulos se diseñaron y fabricaron en el taller de plásticos de la UTM y permiten alojar lámparas, pulsadores y otros componentes de manera organizada y accesible. Aunque no cumplen con alguna norma industrial, su diseño se hizo para que fuera fácil de montar los diferentes componentes.

Como se mostró en la Figura 69, los módulos de montaje desarrollados ofrecen al usuario una herramienta organizada y segura que no se tiene en tableros de pruebas convencionales. En la industria generalmente las lámparas y botones quedan colgados, y aunque es funcional, no es seguro ni organizado. Al tener interacción con el TDIPEyEI, los estudiantes forjan conocimientos que podrían ser explotados al entrar al campo laboral, entender circuitos más complejos, así como desarrollarlos y poder detectar fallas que comúnmente ocurren en la industria.

Durante esta investigación, se evaluó un tablero de prácticas de máquinas eléctricas de Lab-Volt (ahora Festo) disponible en el IEM. Si bien en el tablero de Lab-Volt las conexiones son mucho más fáciles y rápidas de realizar, es común que el estudiante no comprenda como está conectado ya que las conexiones están ocultas y no utiliza componentes de uso industrial, por lo que, si la capacitación se queda con este equipo, le puede resultar más complicado enfrentarse a situaciones reales. Además, su manual no es intuitivo y las instrucciones son poco claras y hay escasez de recursos en internet, lo que dificulta la realización de algunas prácticas.

A pesar de que el tablero realizado en este proyecto de tesis no tiene el mismo enfoque que el de Lab-Volt, viéndolo desde un punto de vista didáctico se llegó a las siguientes conclusiones.

- **Costo:** El TDIPEyEI es significativamente más económico.

- **Aprendizaje práctico:** El TDIPEyEI permite a los estudiantes realizar conexiones con componentes industriales y conexiones reales, lo que facilita la comprensión de los conceptos y la preparación para situaciones del mundo real.
- **Claridad:** El manual de prácticas desarrollado para el TDIPEyEI es más intuitivo y proporciona instrucciones detalladas, además de que se hizo el curso en vídeos en línea, lo que mejora la experiencia de aprendizaje.

Los veintidós vídeos desarrollados como método auxiliar de enseñanza subidos a la plataforma de YouTube han tenido una aceptación favorable y un crecimiento orgánico, sin requerir inversión pues no se ha hecho publicidad de los videos. Esto demuestra el interés creciente por los contenidos y la calidad de los materiales desarrollados, además refleja una buena ejecución del proyecto. Como se mencionó anteriormente esto permite una mayor difusión de los resultados obtenidos en del proyecto de tesis.

La planeación desarrollada para la impartición del curso mencionado en la sección de resultados presenta una estructura bien definida, con objetivos claros, contenidos específicos y una metodología detallada para cada sesión. El curso se centra en la práctica, con actividades como simulaciones, ejercicios guiados y trabajo en equipos, lo que facilita la comprensión de los conceptos.

El uso de software como CADeSIMU permitirá a los estudiantes visualizar y experimentar con los circuitos de manera virtual. Además, se incluyen diferentes tipos de actividades, como exposiciones, resolución de problemas, trabajo en equipo y prácticas en el laboratorio, lo que promueve el aprendizaje activo. La planeación incluye apéndices con ejercicios y problemas, lo que facilita la impartición del curso.

Como futuras líneas de investigación, se propone explorar la implementación de prácticas utilizando lógica digital y no solo lógica cableada, utilizando herramientas de simulación más avanzadas. Asimismo, sería interesante evaluar el impacto de estas prácticas en el rendimiento académico de los estudiantes a largo plazo.

## **Consideraciones adicionales**

Las normas serie 60439-1 hasta la 61439 -6 proporcionadas por la IEC están enfocadas al diseño y construcción de tableros de potencia, para redes públicas, y cuadros para obras. No existe una norma IEC específica que regule de manera detallada los tableros destinados exclusivamente a pruebas y prácticas. Sin embargo, esto no significa que estén exentos de cualquier regulación. Los tableros de pruebas, aunque sean utilizados en entornos controlados, deberían cumplir con ciertos requisitos básicos.

Si bien, el foco principal de este proyecto no fue el cumplimiento rígido de las normas IEC, los requisitos básicos cumplidos para el desarrollo de este proyecto fueron:

- ✓ Verificación del conjunto ensamblado

- ✓ Diagrama que contiene el número de fases y número de hilos (incluyendo tierras y neutros).
- ✓ Símbolo de riesgo eléctrico al interior del tablero.
- ✓ Diagrama del cuadro para identificar los circuitos.
- ✓ En la instalación del cableado (IEC 60446):
  - Color verde para los cables de tierra
  - Color blanco para cables de neutro
  - Color negro, azul o rojo para los cables de fase
- ✓ Calibre de cable no mayor a 14 AWG (15 A nominales).
- ✓ Instalación de dispositivos de protección para circuitos de control y potencia.
- ✓ Color del mueble RAL7035.
- ✓ Acceso restringido al interior del tablero (únicamente con llave).
- ✓ Conexión a tierra física del tablero.
- ✓ Protección mecánica de los cables de alimentación con malla trenzada.
- ✓ Organización de los cables a través de canaleta ranurada.

# Bibliografía

- [1] L. A. Rela, Electricidad y Electronica, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.: Anselmo L. Morvillo S. A., 2010.
- [2] F. D. B. Arceo, Enseñanza situada: Vínculo entre la escuela y la vida, México, D.F.: McGraw Hill Interamericana, 2006.
- [3] O. S. Hidrovo Enríquez y D. A. Recalde Juncal, «"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS EN EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO",» Monterrey, N.L., 2015.
- [4] C. A. Correo Rojas, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO PARA REALIZAR PRÁCTICAS DE MEDICIONES EN CORRIENTE ALTERNA,» Loja, Ecuador, 2014.
- [5] J. Y. Chimbo Cevallos y L. R. Carasayo Shigui, «"IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES PARA EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ",» La Maná, Ecuador, 2023.
- [6] Festo Didactic Inc, «FESTO,» 2021. [En línea]. Available: [https://www.festo.com/mx/es/p/sistema-didactico-de-transmision-de-energia-de-ca-id\\_PROD\\_DID\\_579320/?page=0](https://www.festo.com/mx/es/p/sistema-didactico-de-transmision-de-energia-de-ca-id_PROD_DID_579320/?page=0).
- [7] E. N. d. O. y. E. (ENOE)., «Secretaría de Economía,» 19 Marzo 2024. [En línea]. Available: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/occupation/ingenieros-electronicos#industrias>.
- [8] D. O. Rocha Morelos, C. Morales Corral, I. Soto Marrufo, V. Torres Arguelles y I. O. Benítez González, «Metodologías para diseño de prácticas didácticas en sistemas de control,» Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, pp. 90-106, 2019.
- [9] BUN-CA, Fundación Red de Energía, «Motores Eléctricos,» Diseño Editorial S. A., San Jose, C. R., 2011.

- [10] ABB, «ABB Corporación,» 19 Marzo 2024. [En línea]. Available: <https://new.abb.com/news/es/detail/82715/el-uso-de-motores-altamente-eficientes-en-la-industria-reduciria-el-consumo-global-de-electricidad-en-un-10>.
- [11] E. Harper, El ABC de las instalaciones eléctricas industriales, México: Limusa, 2018.
- [12] J. Rodríguez Fernández, L. M. Cerdá Filiú y R. B. Sánchez-Horneros, Automatismos Industriales, Madrid: Paraninfo, 2014.
- [13] R. A. García García, Artist, Automatas Programables. [Art]. Instituto de Electrónica y Mecatrónica, Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2024.
- [14] CADeSIMU, «CADeSimu,» CADeSIMU, Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://cade-simu.com/>. [Último acceso: 03 Septiembre 2024].
- [15] C. Hammer, Fundamentos de los Interruptores, EATON, 1997.
- [16] China Cdoe, «China CDOE,» [En línea]. Available: <http://es.chinacdoe.com/news/what-is-no-push-button-what-is-nc-push-button/>. [Último acceso: 10 Abril 2024].
- [17] Electricity – Magnetism, «Electricity – Magnetism,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.electricity-magnetism.org/es/interruptores-de-palanca/>.
- [18] K. H. Reyes, «Relés temporizadores,» Kim Herrey, 1 Junio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=LDkwrPfrBh4&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=LDkwrPfrBh4&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 2024 08 21].
- [19] M. P. G. Juan Carlos Martín, Automatismos industriales, Madrid, España: Editex S. A., 2008.
- [20] J. Rodriguez Fernandez, L. M. Cerdá Filiu y R. B. Sanches Horneros, Automatismos Industriales, Madrid, España: Ediciones Paraninfo SA, 2014.
- [21] Grupo de Investigación en Sistemas Inteligentes, «FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN, UNAM,» UNAM, [En línea]. Available: <https://masam.cuautitlan.unam.mx/dycme/ce/arranque-directo/>. [Último acceso: 11 Abril 2024].
- [22] A. García, Artist, El motor trifásico. [Art]. Tem INOVANCE, 2020.

- [23] S. J. Chapman, Máquinas Eléctricas, Mexico D.F.: Mc Graw Hill, 2012.
- [24] S. D, «Medidor de instrucciones Power Meter clase 3020». EUA 1998.
- [25] Z. L. Villegas, «"Diseño y construcción de un módulo de almacenamiento para el medidor de variables eléctricas PowerLogic PM650 basado en el microcontrolador 8031",» Huajuapán de León, Oax., 2002.
- [26] Square D Company, «Manual Square-D-Powerlogic 3020 PM 650,» Square D Company, Tennessee, 1998.
- [27] Legrand, «CONSTRUCCIÓN Y CERTIFICACIÓN DE CONJUNTOS DE CONFORMIDAD CON IEC 6139,» España, 2012.
- [28] A. Group, «Nueva norma de tableros de baja tensión IEC 61439,» 2014.
- [29] A. E. S. D. C. V., «Asesor Eléctrico,» [En línea]. Available: <https://www.ael.mx>. [Último acceso: 30 09 2024].
- [30] J. C. Martín y M. P. García, Automatismos industriales, Madrid: Editext S.A., 2009.
- [31] O. SWIDERSKA, «Publuu,» [En línea]. Available: <https://publuu.com/es/knowledge-base/guia-practica-todo-lo-que-necesita-saber/>. [Último acceso: 05 Mayo 2024].
- [32] K. H. Reyes, «Encendido simple de una lámpara con contactores,» Youtube, 27 Mayo 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=Uu7AwgkE\\_NE&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=Uu7AwgkE_NE&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 08 2024].
- [33] K. H. Reyes, «Encendido simple de una lámpara con contactores (implementación),» Youtube, 2024 Julio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=YCOLnGZ7YBE&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=YCOLnGZ7YBE&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [34] K. H. Reyes, «Encendido con retención de una lámpara con contactores,» Youtube, 28 Mayo 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=xEMMSQAELQU&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=xEMMSQAELQU&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [35] K. H. Reyes, «Encendido con retención de una lámpara con contactores (implementación),» Youtube, 04 Julio 2024. [En línea]. Available:

[https://www.youtube.com/watch?v=0\\_4C1-2ObpM&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=0_4C1-2ObpM&ab_channel=KimHerrey).  
[Último acceso: 22 Agosto 2024].

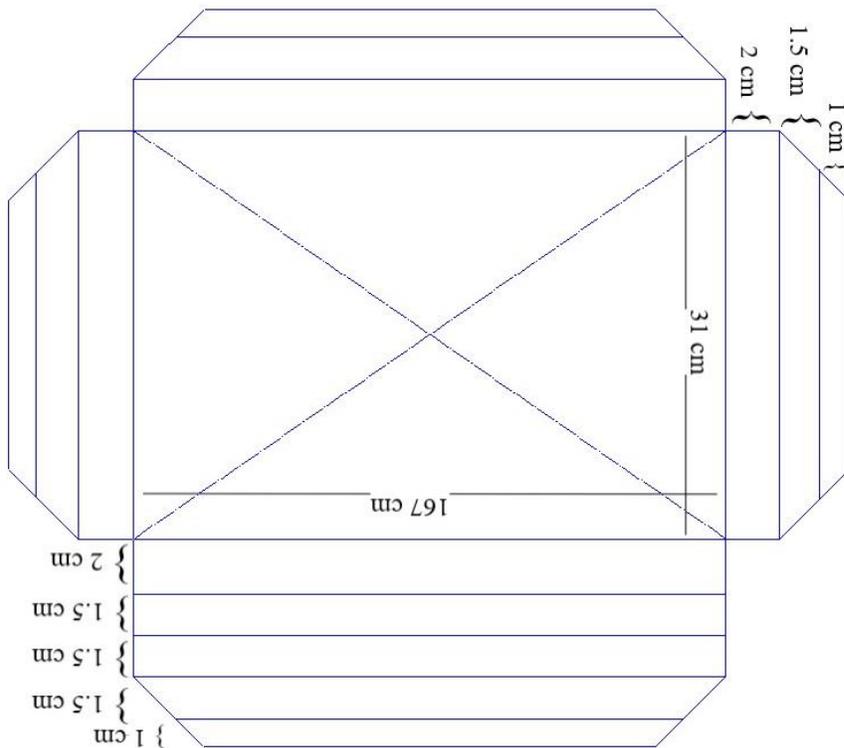
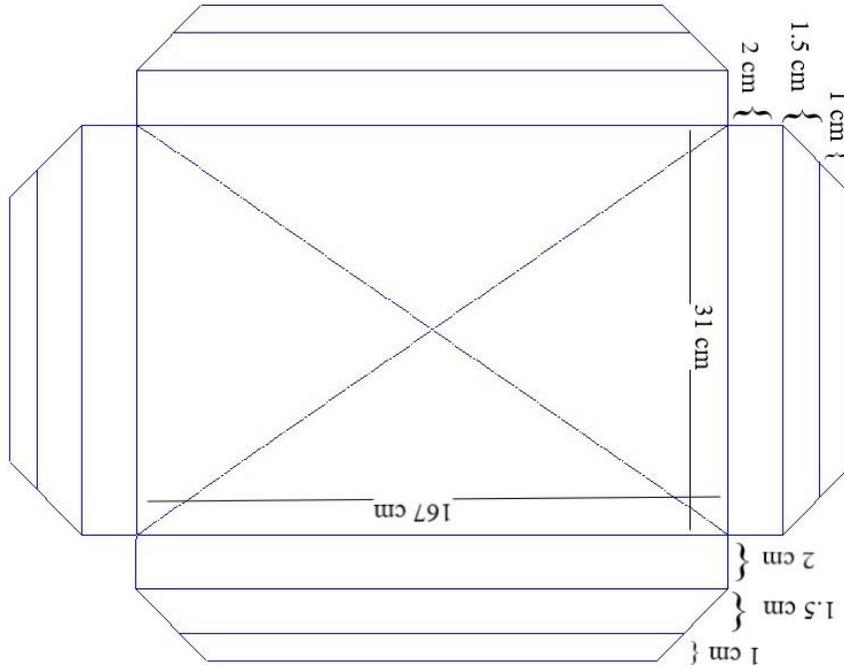
- [36] K. H. Reyes, «Encendido de dos lámparas con dos relés incompatibles pasando por paro,» Youtube, 28 Mayo 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=-3\\_PCu5QSMI&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=-3_PCu5QSMI&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [37] K. H. Reyes, «Encendido de dos lámparas con dos relés incompatibles pasando por paro (implementación),» Youtube, 04 Julio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=ZSKE6rttNjk&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=ZSKE6rttNjk&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [38] K. H. Reyes, «Encendido de dos lámparas con dos relés incompatibles sin pasar por paro,» Youtube, 29 Mayo 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=nhlONO1nNag&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=nhlONO1nNag&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [39] K. H. Reyes, «Encendido de dos lámparas con dos relés incompatibles sin pasar por paro (implementación),» Youtube, 04 Julio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_jFgMykz7\\_U&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=_jFgMykz7_U&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [40] K. H. Reyes, «Endendido de una lámpara con retardo a la conexión,» Youtube, 30 Mayo 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=J1bbwYhAKeM&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=J1bbwYhAKeM&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [41] K. H. Reyes, «Endendido de una lámpara con retardo a la conexión (implementación),» Youtube, 07 Julio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=aTIHzZTryCY&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=aTIHzZTryCY&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [42] K. H. Reyes, «Endendido/apagado cíclico de dos lámparas mutuamente excluyentes,» Youtube, 29 Junio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=E6QQwE95X8M&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=E6QQwE95X8M&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [43] K. H. Reyes, «Endendido/apagado cíclico de dos lámparas mutuamente excluyentes (implementación),» Youtube, 8 Julio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=8aJ6lF9aZsw&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=8aJ6lF9aZsw&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].

- [44] K. H. Reyes, «Encendido secuencia de tres lámparas,» Youtube, 01 Junio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=LD4EhX4mfT4&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=LD4EhX4mfT4&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [45] K. H. Reyes, «Encendido secuencia de tres lámparas (implementación),» Youtube, 08 Julio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=hF6IC4jPkZo&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=hF6IC4jPkZo&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [46] K. H. Reyes, «Circuito de arranque directo de un motor,» Youtube, 17 Julio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=0TB3XJzB\\_Q0&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=0TB3XJzB_Q0&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [47] K. H. Reyes, «Circuito Inversor de giro de un motor trifásico,» Youtube, 08 Agosto 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=Gmu4ySyjVPQ&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=Gmu4ySyjVPQ&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [48] K. H. Reyes, «Circuito Inversor de Giro en motor trifásico (Implementación),» Youtube, 13 Agosto 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=kith6ROrYEG&list=PLFt17dTYXA2my850TiL8Puv2k0vT8LiXh&index=21&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=kith6ROrYEG&list=PLFt17dTYXA2my850TiL8Puv2k0vT8LiXh&index=21&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 09 Septiembre 2024].
- [49] K. H. Reyes, «Sistema Automático para llenado de un tinaco,» Youtube, 30 Agosto 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=2bNnYzhBtQw&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=2bNnYzhBtQw&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 04 Septiembre 2024].
- [50] K. Hernández Reyes, «Medición de Variables eléctricas en un sistema trifásico de arranque de un motor,» Youtube, 19 Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=W9bUcgtsadc>. [Último acceso: 27 Octubre 2024].
- [51] K. H. Reyes, «¿Cómo leer la placa de un motor trifásico?,» Youtube, 17 Julio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=lys190SWgmo&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=lys190SWgmo&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].

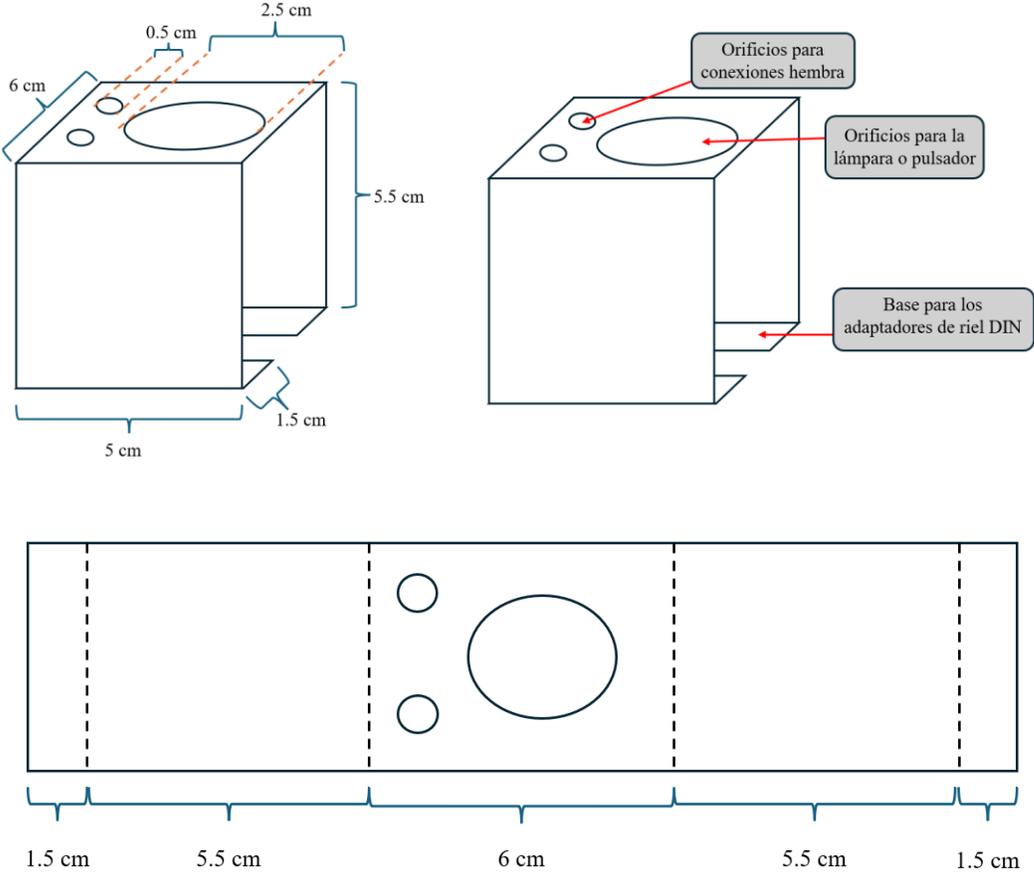
- [52] K. H. Reyes, «Simbología de dispositivos eléctricos,» Youtube, 19 Junio 2024. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=-oTTZ5\\_2z5g&ab\\_channel=KimHerrey](https://www.youtube.com/watch?v=-oTTZ5_2z5g&ab_channel=KimHerrey). [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [53] K. Hernández Reyes, «Estructura del Tablero para prácticas de Electricidad y Electrónica industrial y su equipamiento,» Youtube, 19 Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=m4sG8aA-UG8>. [Último acceso: 27 Octubre 2024].
- [54] «Universidad Tecnológica de la Mixteca,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.utm.mx/~ofertaeducativa/electronica/MapaCurricularIE2022.pdf>.
- [55] «Universidad Tecnológica de la Mixteca,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.utm.mx/~ofertaeducativa/electronica/>.
- [56] PREDICSA, «Provedora Electrica de Distribucion, Control, Sensores y Automatizacion,» 26 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.predicsa.mx/que-son-los-interruptores-de-limite#:~:text=Los%20interruptores%20de%201%C3%ADmite%20son,hacer%20una%20conexi%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%2C%20etc..>
- [57] INESEM, «Conexion y arranque de motores trifásicos,» [En línea]. Available: <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/conexion-arranque-motores-trifasico/>. [Último acceso: 10 Abril 2024].
- [58] C. simu, Artist, Simbolo Interruptor final de carrera. [Art]. CADE simu, 2010.

# Apéndice 1

Planos de las puertas del TDIPEyEI



Planos de los módulos de montaje para lámparas y pulsadores



# Apéndice 2

## Examen propuesto: “Simbología de dispositivos básicos”.

Responda lo siguiente:

1. Según el símbolo del contactor KA1 mostrado en la figura 1:
  - a) ¿Cuántos contactos principales tiene?
  - b) ¿Cuántos contactos auxiliares tiene y de que normalidad (NA/NC)?
  - c) ¿El símbolo representa un contactor principal o auxiliar?

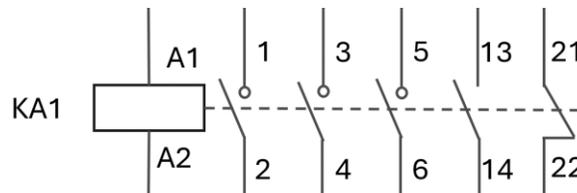
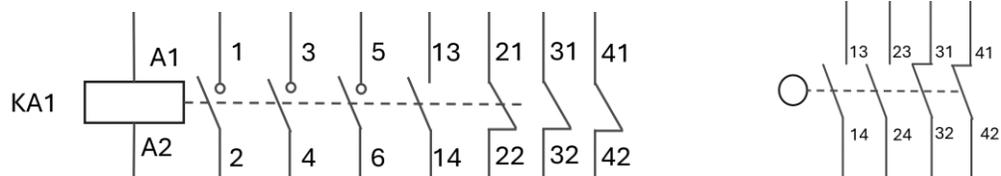


Figura 1. Símbolo de contactor

2. Dibuje el símbolo de un contactor principal de 4 polos (4 contactos principales) y número característico 31 (3 contactos auxiliares NA y 1 NC).
3. Dibuje el símbolo de un final de carreta con un contacto NA y uno NC.

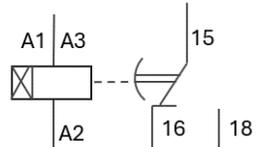
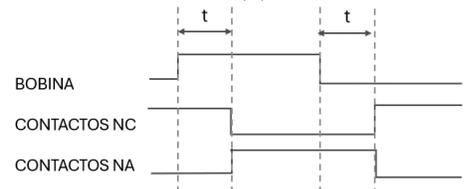
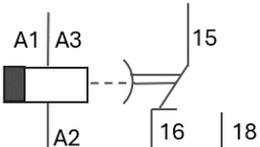
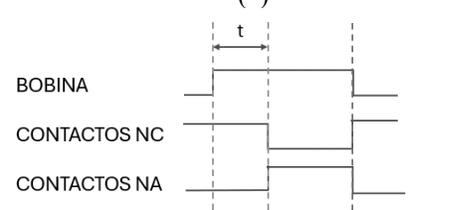
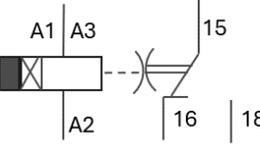
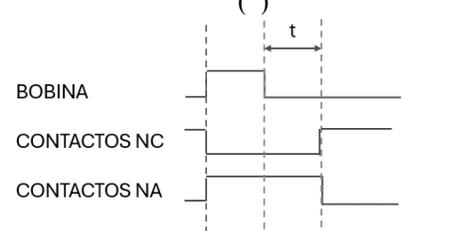
4. Indique el número característico de los siguientes elementos.



# Apéndice 3

## Examen propuesto: “Relevadores de tiempo”.

1. Relacione lo siguiente:

<p>(a)</p> 	<p>( )</p> <p>Relé de tiempo con retardo a la conexión/desconexión</p>	<p>( )</p> 
<p>(b)</p> 	<p>( )</p> <p>Relé de tiempo con retardo a la conexión</p>	<p>( )</p> 
<p>(c)</p> 	<p>( )</p> <p>Relé de tiempo con retardo a la desconexión</p>	<p>( )</p> 

2. Si quiere crear un sistema que encienda una lámpara 5 horas después de haber presionado un interruptor pulsador ¿Qué tipo de relevador de tiempo elegiría y por qué?

3. Conteste verdadero o falso

- En un relevador de tiempo con retardo a la conexión, sus contactos conmutan inmediatamente cuando se energiza su bobina.
- En un relevador de tiempo con retardo a la conexión desconexión los contactos estarán conmutados el mismo tiempo que la bobina esté energizada, pero con un desfase de tiempo  $t$  programado.
- En un relevador de tiempo con retardo a la desconexión, los contactos NO conmutan hasta que la bobina se desenergize.

# Apéndice 4

## Examen propuesto: “Placa de datos de un motor y cálculo de la corriente de arranque”.

1. Relacione lo siguiente:

Dato	Definición
(A) Tipo (EJEMPLO Rgz)	( ) Indica la manera en la que el aire circule alrededor del motor, y cómo se disipa el calor generado para evitar el sobrecalentamiento.
(B) Potencia	( ) Especifica la intensidad de corriente eléctrica que el motor consume cuando trabaja a su carga nominal, a bajo o alto voltaje.
(C) Velocidad	( ) Esta designación indica características particulares del motor en cuanto a diseño, materiales y rendimiento, generalmente son clasificaciones que designa la empresa.
(D) Frecuencia	( ) Indica la capacidad del motor para realizar trabajo mecánico, expresada tanto en caballos de fuerza (HP) como en kilowatts (kW).
(E) Voltaje	( ) Indica el peso total del motor, lo que es útil para su manipulación y transporte.
(F) Conexiones De Las Puntas	( ) Representa la cantidad de vueltas completas que da el rotor del motor en un minuto.
(G) Corriente	( ) Esta letra asignada por NEMA indica los límites de la corriente de arranque del motor, lo cual es importante para seleccionar los dispositivos de protección adecuados.
(H) Armazón	( ) Indica el incremento de temperatura que el motor podría soportar a partir de la temperatura máxima recomendada
(I) Ventilación	( ) Se refiere a la cantidad de ciclos por segundo de la corriente alterna que alimenta el motor.
(J) Eficiencia	( ) Indica si el motor está diseñado para operar de manera continua a plena carga durante largos períodos de tiempo, sin necesidad de descansos frecuentes.
(K) Números De Parte	( ) Indica el tamaño y la forma del cuerpo del motor, así como el material del que está fabricado.
(L) Servicio	( ) Especifica la corriente que el motor consume cuando está trabajando a su máxima carga permitida.
(M) Aislamiento	( ) Indica los voltajes nominales a los que se puede conectar el motor. La elección del voltaje dependerá de la tensión disponible en la instalación eléctrica.
(N) Factor De Servicio	( ) Estos números identifican los componentes específicos del motor, como los rodamientos (también llamados baleros) y otras piezas, lo que facilita su reemplazo en caso de desgaste o avería.

(O)	Corriente Al Factor De Servicio Máximo	( )	Indica la temperatura máxima recomendada en la que el motor puede operar de manera segura. A temperaturas más altas, el rendimiento del motor puede verse afectado y su vida útil puede reducirse.
(P)	Temperatura Ambiente	( )	Indica que tanto puede el motor ser sobrecargado. Esto proporciona un margen de seguridad en caso de picos de carga.
(Q)	Incremento De Temperatura	( )	Indica las normas con las que el motor fue fabricado, esto garantiza un nivel de calidad y seguridad.
(R)	Norma De Fabricación	( )	Indica gráficamente la cantidad de terminales o conexiones eléctricas que tiene el motor y cómo conectar el motor a la fuente de alimentación según el voltaje.
(S)	Letra Código Nominal	( )	Se refiere a la capacidad del aislamiento eléctrico de los bobinados del motor.
(T)	Peso	( )	Indica la proporción de la energía eléctrica que se convierte en energía mecánica útil.

2. Señale en la siguiente imagen los datos según la tabla anterior



3. Con los datos de la placa anterior calcule la corriente de arranque. Considere  $J=8$ .

$$S_{\text{arranque}} = (\text{caballaje nominal})(\text{factor de letra de código})$$

$$I_L = \frac{S_{\text{arranque}}}{\sqrt{3}V_T}$$

## Apéndice 5

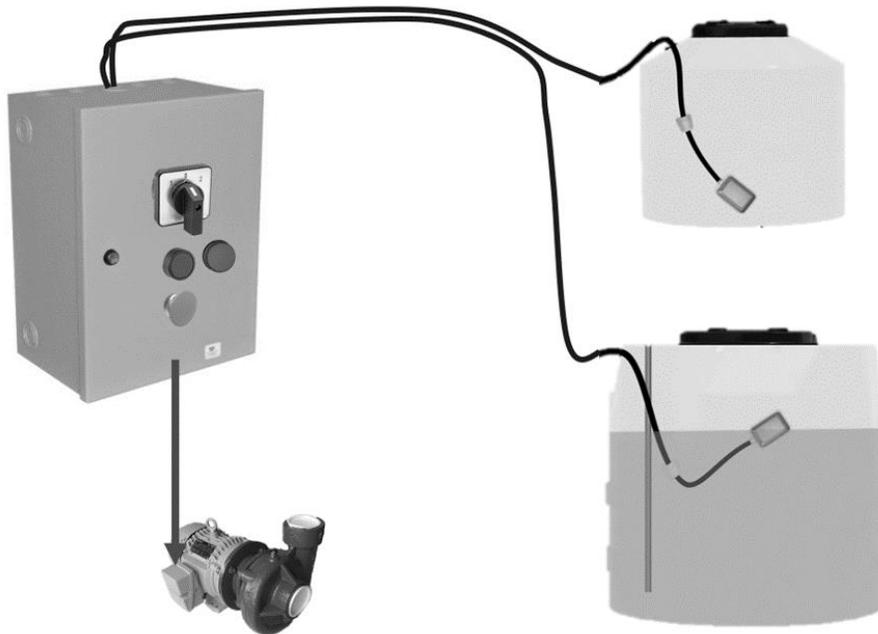
### Examen propuesto: “Sistema automático para el llenado de un tinaco”.

El asesor debe explicar cómo funcionan los interruptores de boya o nivel antes de aplicar este examen.

Diseñe el circuito que control y de potencia para el Sistema automático para el llenado de un tinaco, este sistema debe cumplir los siguientes requerimientos:

El sistema puede estar en modo manual o automático.

- a) En el modo automático el motor se enciende automáticamente cuando el tinaco está vacío. Sin embargo, este no enciende si la cisterna no tiene un nivel de agua suficiente.
- b) En el modo manual el usuario enciende la bomba con un interruptor pulsador de marcha y puede apagarlo con un botón pulsador de paro.
- c) El modo automático puede pausarse sin entrar al modo manual, para ello se recomienda utilizar un selector de tres posiciones (automático, manual y 0).



1. Diseñar el circuito de control y potencia en su representación desarrollada y simularlo en CADeSIMU.
2. Enlistar la lista de dispositivos utilizada, debe incluir dispositivos de protección.

# Apéndice 6

**Manual de prácticas**

# PRÁCTICA 1

## ENCENDIDO SIMPLE DE UNA LÁMPARA CON CONTACTOR

En esta práctica se aprenderán a utilizar un contactor para encender una lámpara. El contactor es un dispositivo eléctrico que se utiliza para controlar el flujo de corriente a una carga, como una lámpara o un motor. Se utiliza comúnmente en aplicaciones industriales y comerciales donde se requiere controlar grandes cantidades de corriente.

Este manual guiará a los estudiantes a través del proceso de conexión e instalación de un contactor para encender una lámpara. También aprenderán sobre los principios básicos de funcionamiento de un contactor y cómo se utiliza para controlar la corriente.

### OBJETIVOS

#### Objetivo general

- Aprender los principios básicos de funcionamiento de un contactor.

#### Objetivos específicos

- Identificar los componentes del circuito.
- Conectar e instalar un contactor para encender una lámpara.
- Explicar los principios básicos de funcionamiento de un contactor.
- Describir cómo se utiliza un contactor para controlar la corriente.

### MATERIALES

- Un contactor.
- Una lámpara piloto.
- Un pulsador normalmente abierto.
- Cables eléctricos.
- Herramientas básicas (pelacables, destornilladores, guantes de seguridad).

### INTRODUCCIÓN

Para aprender a diseñar y comprender los circuitos de maniobra, es necesario entender el funcionamiento de los dispositivos básicos presentes en él, en esta práctica se utilizarán los dispositivos más básicos: el contactor, pulsadores y lámparas piloto.

**Un contactor** (ver Figura 1) está compuesto por una bobina electromagnética, y un conjunto de contactos móviles conectados a un émbolo que es atraído por la bobina cuando esta se energiza. En palabras simples, cuando la bobina del contactor es energizada los contactos asociados a él, conmutan, los contactos con normalidad abierta se cierran y los de normalidad cerrada se abren.

**Un pulsador** (ver Figura 2.a y 2.b), también conocido como interruptor de pulsación, es un dispositivo electromecánico simple que se utiliza para abrir o cerrar contactos eléctricos de forma momentánea, puede ser de normalidad abierta (NA/NO) o de normalidad cerrada (NC). A diferencia de un interruptor convencional, que permanece en la posición activada hasta que se acciona de nuevo, un pulsador solo conmuta su contacto mientras se presiona el botón. Una vez que se suelta el botón, el contacto vuelve a su estado original.

**Las lámparas piloto** (ver Figura 2.c), proporcionan retroalimentación visual instantánea sobre el estado de los sistemas, lo que ayuda en la detección rápida de problemas y en la toma de decisiones.

Para el desarrollo de las prácticas propuestas en este manual se desarrolló un tablero para prácticas nombrado Tablero Didáctico Interactivo para Prácticas de Electricidad y Electrónica Industrial (**TDIPEyEI**), en la Figura 3 se muestra la estructura general del mismo. En la Figura 3.a se muestran los elementos que lo componen, la canaleta ranurada a través de la cual pasa el cableado de instalación de la línea de alimentación trifásica, el medidor de variables eléctricas PM650 y el motor trifásico de 5 HP. Al fondo hay una lámina de fondo lisa y sobre ella 5 rieles DIN. En el primer riel DIN (superior) se encuentran dos dispositivos de protección (ver Figura 3.b), en el primer dispositivo de protección (izquierdo) están disponibles las líneas 1, 2 y 3, con 220 V de corriente alterna entre ellas, mientras que en el segundo dispositivo de protección (derecho) está disponible una de las líneas y el neutro, con 120 V de corriente alterna entre ambos.

En un circuito eléctrico real, se hace distinción de un circuito de potencia y uno de control. La principal función de un circuito de potencia es suministrar energía eléctrica a las cargas (motores, lámparas, calentadores, etc.) para realizar un trabajo útil, se caracteriza por tener altos niveles de corriente y voltaje pues manejan grandes cantidades de energía eléctrica para alimentar las cargas. Por otro lado, un circuito de control se encarga de controlar y regular el

funcionamiento del circuito de potencia. Se caracteriza por tener menores niveles de corriente y voltaje, pues únicamente maneja señales eléctricas de baja potencia para activar o desactivar componentes del circuito de potencia.

Las prácticas 1-7 servirán para forjar los conocimientos para desarrollar circuitos de control. El equipo disponible para la realización de prácticas como contactores, lámparas piloto y relevadores requieren de 120 V de corriente alterna, por lo tanto, para el desarrollo de esta práctica y las siguientes 6 ignorará el primer dispositivo de protección, utilizando únicamente los 120 V que proporciona el circuito de protección derecho.



Figura 1. Contactor.



a)



b)

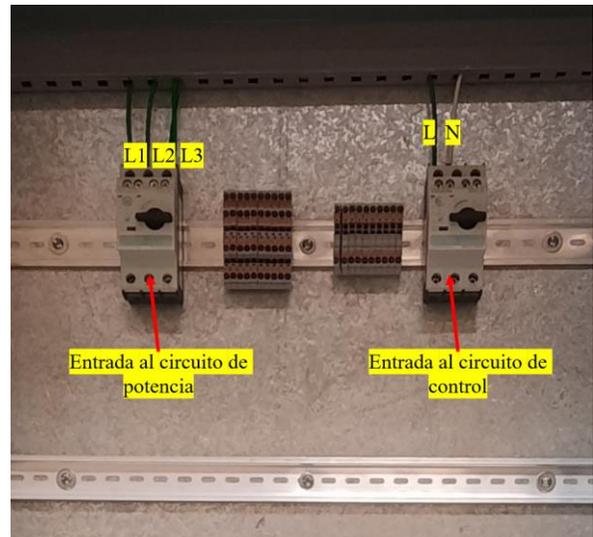


c)

Figura 2. Pulsador NO/NA, NC y lámpara piloto.



a)



b)

Figura 3. Estructura general del Table (TDIPEyEI).

Para el desarrollo de los circuitos en estas prácticas es importante conocer los colores y símbolos en los pulsadores y lámparas piloto tienen la función de proporcionar una indicación visual clara y comprensible de la función de un dispositivo o el estado de un sistema, mejorar la seguridad y facilitar la operación (ver Tabla 1). Para el desarrollo de

las prácticas no se requiere un uso estricto de los colores de las lámparas piloto, lo que permite una mayor flexibilidad en el diseño y adaptación a diferentes aplicaciones. No obstante, es fundamental conocer los estándares de coloración industrial para facilitar el manejo de los sistemas y evitar confusiones en entornos profesionales.

Colores para pulsadores		Colores para lámparas piloto	
	Parada, Desconexión, Emergencia.		Estado normal.
 	Marcha, Conexión, Pulsatorio.		Atención o precaución.
	Marcha de un retroceso fuera del proceso normal de trabajo o marcha de un movimiento para eliminación de una condición peligrosa.		Maquina preparada para servicio.
			Los circuitos eléctricos se encuentran en tensión/ estado normal.
 	Toda Función para la que no vale ninguno de los colores anteriores.		Todas las funciones para las que no vale ninguno de los colores citados.

**Tabla 1.** Colores para botones pulsadores y lámparas piloto.

### Simbología del contactor:

En la figura 4, se muestra el símbolo típico de un contactor, los números del 1 al 6 dan lugar a los contactos principales siendo los números impares las partes fijas del contacto y los números pares las partes móviles.

Los números 13/14 y 21/22 referencian a los contactos auxiliares, **las unidades** 3/4 indican la normalidad abierta y 1/2 indican la normalidad cerrada, **las decenas** están ligadas al número de contacto, por ejemplo, si hay dos contactos NA, el primero tendrá los números 13 y 14 mientras que el segundo tendrá los números 23 y 24.

Las etiquetas **A1 y A2** indican los bornes de la bobina, adicionalmente a la izquierda de la bobina se tiene **KA** para contactores auxiliares y **KM** para contactores principales y un numero extra para indicar el número del contactor.

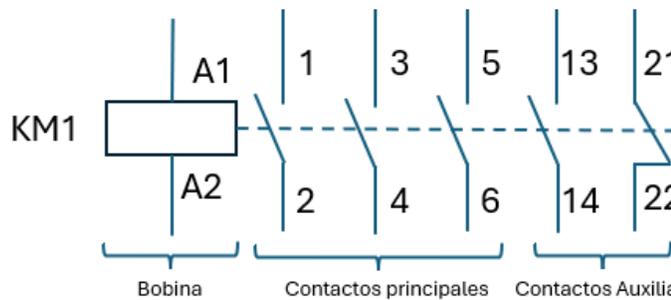
### Simbología de los pulsadores:

Los pulsadores, que se muestran en la figura 5, generalmente se etiquetan con las letras M (indicando que es un pulsador de marcha) o P (indicando que es un pulsador de paro), así como un número que indica el número del elemento cuando hay más de uno del mismo tipo. En los números 13/14 y 21/22, **las unidades** 3/4 indican la normalidad abierta y las unidades 1/2 indican la normalidad cerrada, **las decenas** están ligadas al número de pulsador, por ejemplo, si hay dos pulsadores de marcha

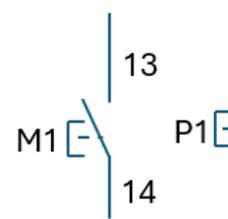
NA, el primero (etiquetado como M1) tendrá los números 13 y 14 mientras que el segundo (etiquetado como M2) tendrá los números 23 y 24.

**Simbología de lámparas piloto:**

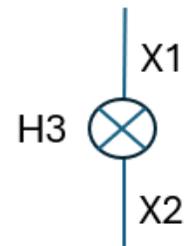
La lámpara, cuyo símbolo se muestra en la figura 6, usa la letra "H" para indicar que la lámpara es de tipo incandescente, y la letra "P" suele indicar que la lámpara es de tipo piloto, lo que significa que indica el estado de operación (ejemplo: encendido o apagado). "x1" y "x2" indican dos puntos de conexión en un circuito eléctrico.



**Figura 3.** Simbología de un contactor.



**Figura 4.** Simbología de pulsadores.

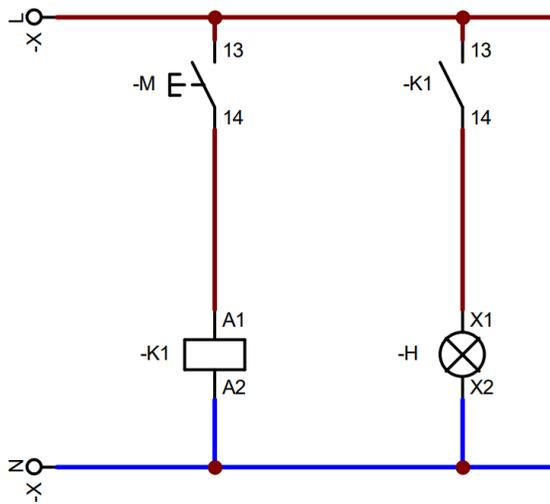


**Figura 5.** Simbología de lámparas piloto.

**DESARROLLO**

Una vez comprendido cómo funciona cada uno de los elementos mencionados en la introducción y su simbología, podrá implementar la práctica. En las Figuras 7 y 9 se pueden identificar los elementos que componen el circuito a desarrollar.

Antes de armar el circuito de la Figura 7 es importante simularlo en el simulador CADe SIMU. Una vez que se ha entendido como funciona y ver los vídeos de apoyo sugeridos, armar el circuito en el tablero de pruebas como se muestra en la figura 9 y siguiendo los siguientes pasos:

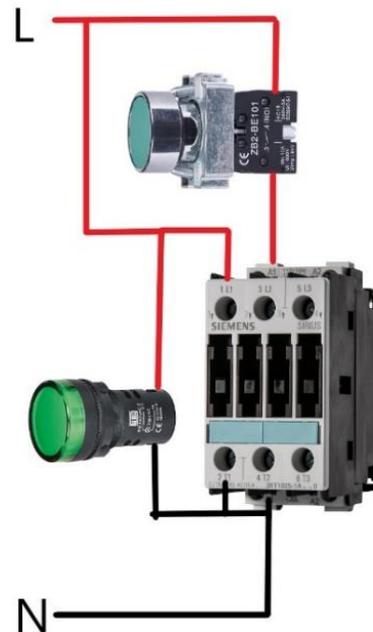


**Figura 6.** Simulación del circuito en CADe SIMU.



**Figura 7.** Bornes de conexión del contactor.

1. Verifique que los cables de línea y neutro estén desenergizados.
2. Coloque todos los dispositivos a utilizar en los rieles DIN del tablero.
3. Identifique los bornes de conexión de la bobina y contacto normalmente abierto en el contactor (ver Figura 8). La bobina está marcada con las etiquetas A1 y A2 (flechas moradas) y el contacto NA está marcado con las etiquetas 1L1 Y 2T1 (flechas azules) aunque puede usar cualquiera de los otros contactos (3L2/4T2 o 5L3/6T3).
4. Conecte el cable de la línea de alimentación y el borne superior del contacto NA (1L1) al borne 13 del pulsador NA.
5. Conecte el borne 14 del pulsador al borne superior (A1) de la bobina del contactor
6. Conecte el borne inferior de la bobina del contactor (A2) a la línea de neutro.
7. Conecte la lampara piloto en paralelo al contacto del contactor (un extremo al borne 1L1 y un extremo al borne 2T1).



**Figura 8.** Circuito de conexión física.



8. Verifique las conexiones guiándose de la figura 7 o 9.
9. Energice el circuito.

## PRUEBAS

Presione el pulsador.	¿La lámpara encendió?	SI	NO
Deje de presionar el pulsador.	¿La lámpara se apagó?	SI	NO

Si la respuesta a una o dos de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verifique las conexiones nuevamente.

Verifique que haya 120 V en la fuente de alimentación del tablero.

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Cuando se presiona el pulsador NA, se permite el flujo de corriente a través del circuito de control del contactor, esta corriente activa la bobina del contactor, que cierra sus contactos principales asociados. Cuando los contactos principales están cerrados, la corriente fluye hacia la lámpara, encendiéndola.

Cuando se deja de presionar el pulsador, es decir el pulsador está en su estado normal (NA/NO), se impide el flujo de corriente hacia la bobina del contactor, que abre los contactos principales (regresándolos a su estado original NA), por lo tanto, se corta la corriente hacia la lámpara, apagándola.

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Qué sucedería si la bobina del contactor estuviera dañada?
2. ¿Qué sucedería si los contactos principales del contactor fueran normalmente cerrados?
3. ¿Cómo se puede utilizar un contactor para controlar un motor?
4. ¿Qué ventajas tiene utilizar un contactor en lugar de un interruptor simple para encender una lámpara?

## REFERENCIAS

Guías de apoyo:



Descargar CADe SIMU.



Simbología de los elementos básicos.



Explicación de funcionamiento y simulación.



Armado físico.



Estructura del Tablero para prácticas de Electricidad y Electrónica industrial y su equipamiento.

# PRÁCTICA 2

## ENCENDIDO CON RETENCIÓN DE UNA LÁMPARA CON CONTACTOR

En esta práctica se aprenderá a utilizar un contactor para retener el encendido de una lámpara piloto. La configuración de autorretención en un contactor es utilizada en muchas otras aplicaciones, por ello, con la realización de esta práctica se espera que se entienda su principio de funcionamiento, reforzando los conocimientos de los principios de funcionamiento un contactor.

### OBJETIVOS

Objetivo general

- Aprender el principio de autorretención en el contactor.

Objetivos específicos

- Identificar los componentes del circuito y familiarizarse con ellos.
- Conectar e instalar un contactor para encender una lámpara y retener el encendido.
- Explicar cómo funciona la autorretención.

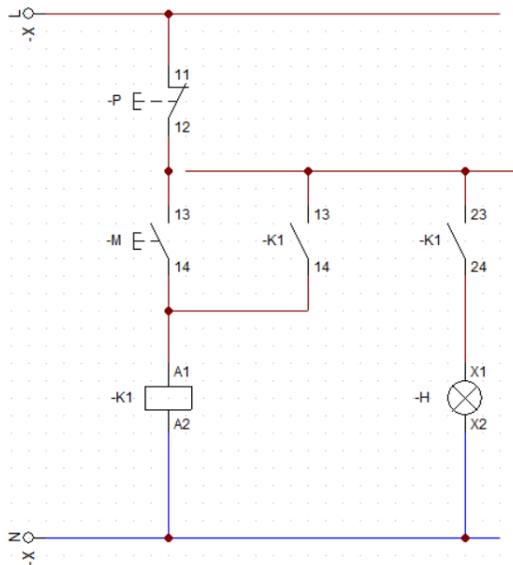
### MATERIALES

- Un contactor.
- Una lámpara piloto.
- Un pulsador normalmente abierto.
- Un pulsador normalmente cerrado.
- Cables eléctricos.
- Herramientas básicas (pelacables, destornilladores, guantes de seguridad).

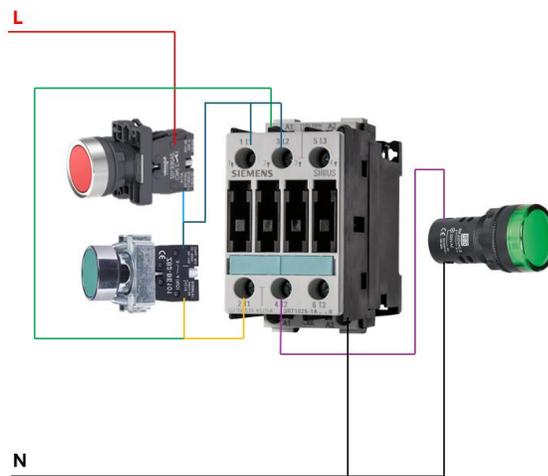
### DESARROLLO

En la práctica 1 se interactuó con tres de los elementos usados en esta práctica, un contactor, un pulsador NA y una lámpara piloto. En la figura 10 y 11 se pueden identificar los elementos que componen al circuito. En esta práctica se agrega el uso de un pulsador NC y se utiliza un contacto más del contactor.

Antes de armar el circuito de la figura 10 es importante simularlo en el simulador CADe SIMU. Una vez que se ha entendido como funciona armar el circuito en el tablero de pruebas, como se muestra en la figura 11 y ver los vídeos de apoyo sugeridos. Realizar los siguientes pasos:



**Figura 10.** Simulación del circuito en CADe SIMU.



**Figura 11.** Circuito de conexión física.

1. Verifique que los cables de línea y neutro estén desenergizados.
2. Coloque todos los dispositivos a utilizar en los rieles DIN del tablero.
3. Identifique los bornes de conexión de la bobina y los contactos normalmente abiertos en el contactor. La bobina está marcada con las etiquetas A1 y A2 y los contactos NA está marcados con las etiquetas 1L1/2T1 y 3L2/4T2
4. Conecte el cable de línea hacia el borne superior (11) del pulsador de paro (NC).
5. Conecte el borne 12 del pulsador de paro (NC) hacia el borne 13 del pulsador de marcha, y desde ahí, conecte hacia el borne superior de los contactos del contacto del contactor (1L1 y3L2).
6. Conecte el otro extremo del pulsador de marcha (14) hacia el borne A1 de la bobina y hacia el borne inferior del primer contacto (2T1)
7. Conecte el borne inferior del segundo contacto (4T2) hacia un borne de la lámpara piloto y el otro extremo de esta hacia el neutro.
8. Conecte el borne inferior (A2) a la línea de alimentación negativa.
9. Verifique las conexiones guiándose de la figura 10 u 11.
10. Energizar el circuito.



**Figura 12.** Borne de conexión del contactor.

## PRUEBAS

Presione el pulsador NA	¿La lámpara encendió?	SI	NO
-------------------------	-----------------------	----	----

Deje de presionar el interruptor.	¿La lámpara se mantiene encendida?	SI	NO
Presione el pulsador NC	¿La lámpara se apagó?	SI	NO

Si la respuesta a una o más de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verifique las conexiones nuevamente.

Verifique que haya 120 V en la fuente de alimentación del tablero.

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Al pulsar el interruptor pulsador, se energiza la bobina del contactor, cerrando los contactos principales y permitiendo el flujo de corriente a la lámpara. Al mismo tiempo se cierra el circuito de retención, manteniendo la corriente a la bobina incluso después de soltar el pulsador. Esto mantiene la lámpara encendida. Al pulsar el pulsador de apagado, se abre el circuito de retención, desenergizando la bobina y abriendo los contactos principales, cortando la corriente a la lámpara.

Una configuración de retención permite mantener la carga activa sin necesidad de mantener el interruptor pulsador presionado y reduce el desgaste del interruptor pulsador.

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Qué sucede si se conecta al revés los cables de la bobina, por ejemplo, si conecta al borne A2 en lugar de A1 y viceversa?
2. ¿En qué otras aplicaciones se puede utilizar un circuito de retención con contactores? Dé ejemplos específicos.
3. ¿Qué componentes adicionales se podrían agregar al circuito para mejorar su funcionalidad o seguridad?
4. ¿Qué habilidades técnicas y conceptos teóricos ha aprendido al realizar esta práctica?
5. ¿Cómo se podrían utilizar los circuitos de retención con contactores en proyectos de ingeniería o domótica?

## REFERENCIAS

Guías de apoyo:



Manual de prácticas del proyecto de tesis “Diseño y construcción de un tablero para prácticas de electricidad y electrónica Industrial”



Simbología de los elementos básicos.



Explicación de funcionamiento y simulación.



Armado físico.

# PRÁCTICA 3

## ENCENDIDO DE DOS LÁMPARAS CON DOS CONTACTORES INCOMPATIBLES PASANDO POR PARO

En esta práctica se realizará un circuito utilizando dos contactores, haciendo un circuito donde dos lámparas son mutuamente excluyentes. El circuito está diseñado específicamente para que solo una lámpara pueda estar encendida a la vez. Esto se logra utilizando componentes como interruptores o relés que bloquean el flujo de corriente a una lámpara cuando la otra está encendida.

En resumen, esta práctica proporcionará conocimientos prácticos sobre control eléctrico, seguridad en el manejo de circuitos de alta potencia y habilidades para la resolución de problemas en el diseño de sistemas eléctricos.

### OBJETIVOS

Objetivo general

- Aprender diseñar circuitos con elementos de activación mutuamente excluyentes.

Objetivos específicos

- Conectar e instalar dos contactores para encender dos lámparas mutuamente excluyentes.
- Describir cómo se utilizan dos o más contactores en un circuito de control.
- Aprender a utilizar bloques de contactos auxiliares para los contactores.

### MATERIALES

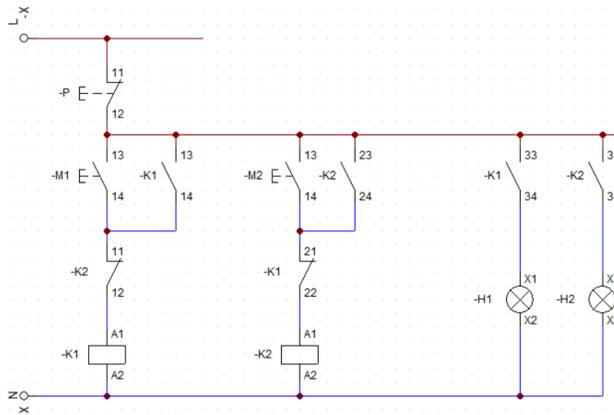
- Dos contactores.
- Dos bloques de contactos auxiliares (ya que se requieren contactos NC).
- Dos lámparas piloto.
- Un pulsador normalmente abierto.
- Un pulsador normalmente cerrado.
- Cables eléctricos.

- Herramientas básicas (pelacables, destornilladores, guantes de seguridad).

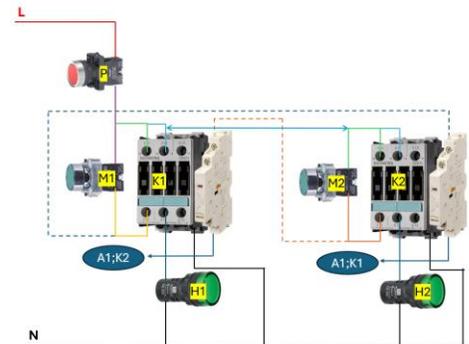
## DESARROLLO

En esta práctica se utilizarán los bloques de contactos auxiliares, que son elementos que complementan a los contactores para asociar a ellos más contactos. Además se van a utilizar los componentes descritos y usados en las prácticas anteriores.

En la figura 13 y 14 se pueden identificar los elementos que componen al circuito. Antes de armar el circuito es importante simularlo en el simulador CADe SIMU. Una vez que se ha entendido como funciona armar el circuito en el tablero de pruebas, como se muestra en la figura 13 y ver los vídeos de apoyo sugeridos. Realizar los siguientes pasos:



**Figura 13.** Simulación del circuito en CADe SIMU.



**Figura 14.** Diagrama de conexión física.

1. Verifique que los cables de línea y neutro estén desenergizados.
2. Coloque a cada contactor un bloque de contactos auxiliares.
3. Coloque todos los dispositivos a utilizar en los rieles DIN del tablero.
4. Identifique los bornes de todos los elementos.
5. Conecte el cable de línea hacia el pulsador de paro y en serie a él, conecte el pulsador de marcha 1.
6. Conecte los pulsadores de marcha en paralelo al primer contacto de cada contactor respectivamente.



**Figura 15.** Bloque de contactos auxiliares para un contactor.

7. Haga una conexión común ente los bornes superiores de los contactos NA de los contactores.
8. Conecte el borne superior del contacto NC del primer bloque de contactos auxiliares hacia el borne 14 del pulsador de marcha 2.
9. Conecte el borne superior del contacto NC del segundo bloque de contactos auxiliares hacia el borne 14 del pulsador de marcha 1.
10. Conecte el borne inferior del contacto NC del primer bloque de contactos auxiliares hacia el borne A1 de la bobina 2.
11. Conecte el borne inferior del contacto NC del segundo bloque de contactos auxiliares hacia el borne A1 de la bobina 1.
12. Conecte las lámparas en los bornes 4T2 de cada uno de los contactores.
13. Conecte los extremos de las lámparas y los bornes A2 de las bobinas hacia el cable de neutro.
14. Verifique las conexiones guiándose de la figura 13 o 14.
15. Energizar el circuito.

## PRUEBAS

Presione el pulsador de marcha 1.	¿La lámpara 1 encendió?	SI	NO
Deje de presionar el pulsador de marcha 1.	¿La lámpara 1 se mantiene encendida?	SI	NO
Presione el pulsador de marcha 2.	¿El circuito se mantuvo en el estado anterior? Es decir, la segunda lámpara no encendió.	SI	NO
Presione el pulsador de paro.	¿La lámpara 1 se apagó?	SI	NO
Presione el pulsador de marcha 2.	¿La lámpara 2 encendió?	SI	NO

Deje de presionar el pulsador de marcha 2.	¿La lámpara 2 se mantiene encendida?	SI	NO
Presione el pulsador de marcha 1.	¿El circuito se mantuvo en el estado anterior? Es decir, la primera lámpara no encendió.	SI	NO
Presione el pulsador de paro.	¿La lámpara 2 se apagó?	SI	NO

Si la respuesta a una o más de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verificar las conexiones nuevamente.

Verifique que haya 120 V en la fuente de alimentación del tablero.

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

En el estado inicial del circuito ambas lámparas están apagadas y los contactores están desenergizados, así mismo como el interruptor de paro está en su normalidad (cerrado). Cuando se pulsa el interruptor pulsador de marcha 1 se energiza la bobina del contactor 1, los contactos asociados a este conmutan. La bobina del contactor 2 está conectada en serie con un contacto NC del contactor 1, por lo tanto, cuando se energiza la bobina de este contactor (1) el contactor NC se abre, impidiendo que haya el flujo de corriente hacia la bobina del segundo contactor, de esta manera la lámpara 2 nunca encenderá mientras la primera esté encendida.

A modo de prueba, se pulsa el interruptor pulsador de la lámpara 2, sin embargo, el contactor 2 no se energiza porque el contacto en serie a su bobina está abierto.

Para desactivar el primer contactor se pulsa el interruptor pulsador de paro, regresando todos los contactos a su estado original, permitiendo así que se pueda encender la segunda lámpara cuando se presione el pulsador de marcha 2.

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. Explique en sus propias palabras cómo funciona el circuito y por qué se produce el "paro" al encender una de las lámparas.
2. ¿Qué pasaría si se eliminara el interruptor de paro del circuito?
3. ¿Qué función cumplen los contactos auxiliares en este circuito?
4. ¿Qué tipo de problemas podrían surgir en este circuito y cómo se podrían diagnosticar y solucionar?
5. ¿En qué situaciones prácticas se podría utilizar este circuito? Dé ejemplos específicos.

6. ¿Cómo se podría adaptar este circuito para controlar más de dos lámparas?
7. ¿Qué habilidades técnicas y conceptos teóricos ha aprendido al realizar esta práctica?

## REFERENCIAS

Guías de apoyo:



Simbología de los elementos básicos.



Explicación de funcionamiento y simulación.



Armado físico

# PRÁCTICA 4

## ENCENDIDO DE DOS LÁMPARAS CON DOS CONTACTORES INCOMPATIBLES SIN PASAR POR PARO

En esta práctica se realizará un circuito, utilizando dos contactores, en el que el encendido de dos lámparas sea mutuamente excluyentes. El circuito está diseñado para que solo una lámpara pueda estar encendida a la vez, pero a diferencia de la práctica anterior, se puede pasar de encender una a otra sin tener que presionar el pulsador de paro.

Esta práctica proporcionará una visión de cómo usar los componentes en la aplicación de un circuito de control.

### OBJETIVOS

#### Objetivo general

- Aprender a diseñar circuitos con elementos de activación mutuamente excluyentes.

#### Objetivos específicos

- Conectar e instalar dos contactores para encender dos lámparas mutuamente excluyentes.
- Describir cómo se utilizan dos o más contactores en un circuito de control.
- Aprender a utilizar bloques de contactos auxiliares para los contactores.

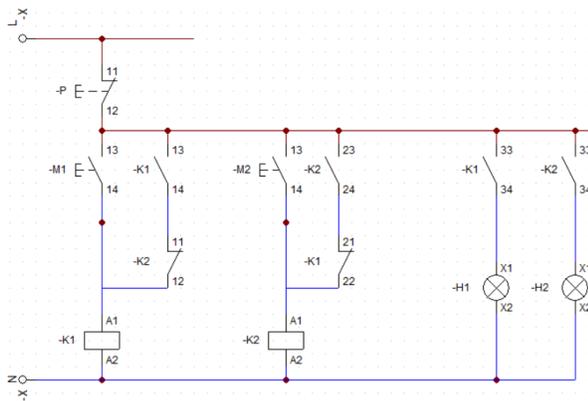
### MATERIALES

- Dos contactores.
- Dos bloques de contactos auxiliares (ya que se requieren contactos NC).
- Dos lámparas piloto.
- Un pulsador normalmente abierto.
- Un pulsador normalmente cerrado.
- Cables eléctricos.

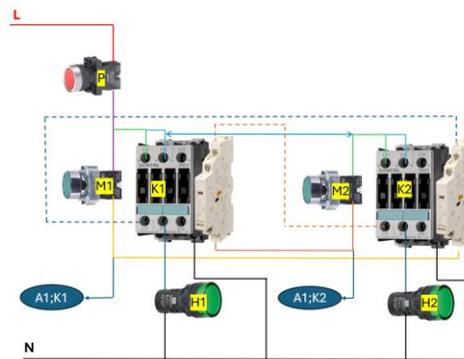
- Herramientas básicas (pelacables, destornilladores, guantes de seguridad).

## DESARROLLO

En la figura 16 y 17 se observan los elementos que componen al circuito. Antes de armarlo es importante simularlo en el simulador CAdE SIMU. Una vez que se ha entendido como funciona, armar el circuito en el tablero de pruebas, como se muestra en la figura 17 y ver los vídeos de apoyo sugeridos. Realizar los siguientes pasos:



**Figura 16.** Simulación del circuito en CAdE SIMU.



**Figura 17.** Diagrama de conexión física.

1. Verifique que los cables de línea y neutro estén desenergizados.
2. Coloque a cada contactor un bloque de contactos auxiliares.
3. Coloque todos los dispositivos a utilizar en los rieles DIN del tablero.
4. Identifique los bornes de todos los elementos.
5. Conecte el cable de línea hacia el pulsador de paro y en serie a él, conecte el pulsador de marcha 1.
6. Conecte el primer contacto NA del contactor 1 en serie con el contacto NC del contactor 2 y el primer contacto NA del contactor 2 en serie con el contacto NC del contactor 1
7. Conecte los pulsadores de marcha en paralelo a los contactos conectados en serie en el paso anterior respectivamente.
8. Haga una conexión común ente los bornes superiores de los contactos NA de los contactores.
9. Conecte el borne inferior del pulsador de marcha 1 hacia el borne A1 de la bobina 1.
10. Conecte el borne inferior del pulsador de marcha 2 hacia el borne A1 de la bobina 2.
11. Conecte las lámparas en los bornes 4T2 de cada uno de los contactores.
12. Conecte los extremos de las lámparas y los bornes A2 de las bobinas hacia el cable de neutro.



13. Verifique las conexiones guiándose de la figura 16 o 17.
14. Energizar el circuito.

## PRUEBAS

Presione el pulsador de marcha 1.	¿La lámpara 1 encendió?	SI	NO
Deje de presionar el pulsador de marcha 1.	¿La lámpara 1 se mantiene encendida?	SI	NO
Presione el pulsador de marcha 2.	¿La lámpara 1 se apagó y la lámpara 2 se encendió?	SI	NO
Presione el pulsador de marcha 1.	¿La lámpara 2 se apagó y la lámpara 1 se encendió?	SI	NO
Presione el pulsador de paro.	¿Las dos lámparas están apagadas?	SI	NO

Si la respuesta a una o más de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verificar las conexiones nuevamente.

Verifique que haya 120 V en la fuente de alimentación del tablero.

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

En el estado inicial del circuito ambas lámparas están apagadas y los contactores están desenergizados, así como el interruptor de paro está cerrado. Cuando se pulsa el interruptor pulsador 1 se energiza la bobina del contactor 1, los contactos asociados a este conmutan. Un contacto NC del contactor opuesto está en serie a las bobinas de los contactores, esto garantiza que cuando una de las dos bobinas se energiza la otra se desenergiza asegurando que se impida el flujo de corriente a través de ella.

Cuando se pulsa el interruptor pulsador de la lámpara 2, después de que esta encendida la primera lámpara, se observa que se hace un cambio inmediato de una lámpara encendida a otra.

El pulsador de paro cuando se presiona apaga cualquiera de las dos lámparas encendidas ya que desenergiza todo el circuito.

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. Explique en sus propias palabras la diferencia entre la práctica 3 y 4.
2. ¿Qué función cumplen los contactos auxiliares en este circuito?
3. ¿Qué tipo de problemas podrían surgir en este circuito y cómo se podrían diagnosticar y solucionar?
4. ¿En qué situaciones prácticas se podría utilizar este circuito? Dé ejemplos específicos.
5. ¿Cómo se podría adaptar este circuito para controlar más de dos lámparas?
6. ¿Qué habilidades técnicas y conceptos teóricos ha aprendido al realizar esta práctica?

## REFERENCIAS

Guías de apoyo:



Simbología de los elementos básicos.



Explicación de funcionamiento y simulación.



Armado físico.

# PRÁCTICA 5

## ENCENDIDO DE UNA LÁMPARA CON RETARDO A LA CONEXIÓN

En esta práctica se aprenderá el funcionamiento de relés temporizados: los estudiantes comprenderán cómo funcionan los relés temporizados y cómo se pueden utilizar para introducir retardos en la conexión de dispositivos eléctricos como lámparas. Lo cual implica comprender los principios de temporización eléctrica y cómo se implementan en la práctica.

Aprenderán a diseñar y construir circuitos eléctricos que incluyan elementos temporizados mediante la conexión y configuración de los relés temporizados en un circuito eléctrico para lograr el efecto deseado.

### OBJETIVOS

#### Objetivo general

- Aprender los principios básicos de funcionamiento de un relé de tiempo con retardo a la conexión.

#### Objetivos específicos

- Comprender el diseño de circuitos eléctricos con retardos y su aplicación en situaciones reales.
- Desarrollar habilidades útiles en el campo de la ingeniería eléctrica y la automatización.
- Conectar e instalar un relé de tiempo para encender una lámpara.
- Explicar los principios básicos de funcionamiento de un relé de tiempo con retardo a la conexión.

### MATERIALES

- Un contactor.
- Una lámpara piloto.
- Un pulsador normalmente abierto.

- Un pulsador normalmente abierto.
- Un relé temporizador con retardo a la conexión.
- Cables eléctricos.
- Herramientas básicas (pelacables, destornilladores, guantes).

## INTRODUCCIÓN

Un relé de tiempo (Figura 18), también conocido como relé temporizador o temporizador, es un dispositivo eléctrico que funciona como un interruptor automático controlado por tiempo. En otras palabras, un relé de tiempo permite encender o apagar un circuito eléctrico después de un intervalo de tiempo preestablecido.

Los relés de tiempo utilizan un mecanismo interno, ya sea electrónico o mecánico, para medir el tiempo transcurrido desde que se activa la señal de entrada. Una vez que se alcanza el tiempo preestablecido, el relé cambia el estado de sus contactos, encendiendo o apagando el circuito conectado a su salida.

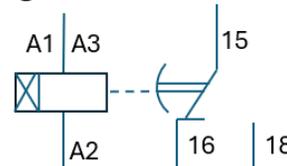
Típicamente existen tres diferentes clasificaciones de relés de tiempo (Figura 19, 20 y 21), para comprender como funciona cada uno de ellos vea el material de apoyo citado al final de esta práctica.

Los relés de tiempo se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo:

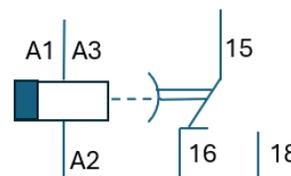
- Control de iluminación: Para encender o apagar luces automáticamente.



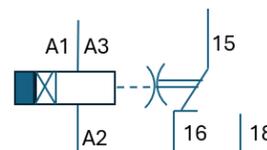
**Figura 18.** Relé físico



**Figura 19.** Relé de tiempo con retardo a la conexión.



**Figura 20.** Relé de tiempo con retardo a la desconexión.



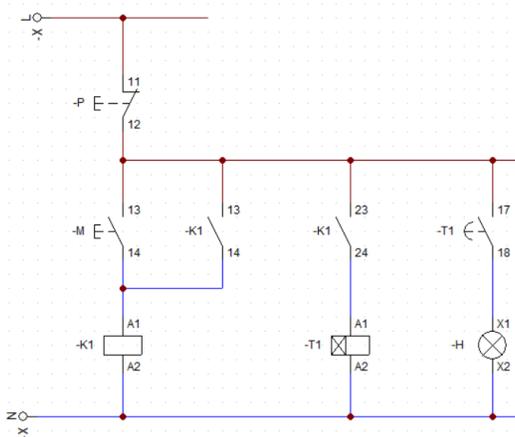
**Figura 21.** Relé de tiempo con retardo a la conexión/desconexión.

- Control de motores: Para arrancar o detener motores eléctricos después de un tiempo determinado, como en bombas de agua o ventiladores.
- En sistemas de seguridad, alarmas de incendio, temporizadores de riego, etc.
- Procesos industriales: Para controlar secuencias de operaciones en procesos automatizados, como líneas de producción.

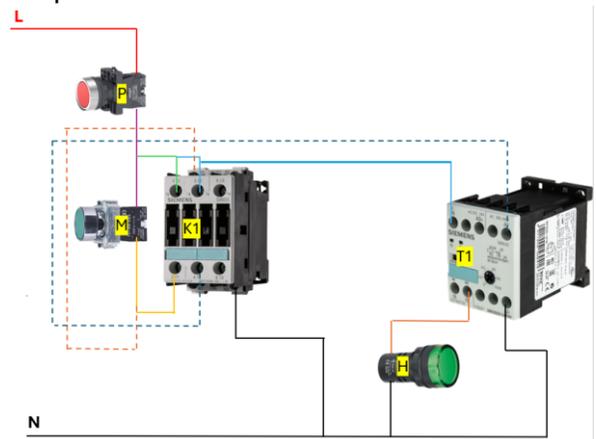
## DESARROLLO

Los dispositivos utilizados en esta práctica se enlistan en la sección de materiales y pueden identificarse en las figuras 22 y 23. En la figura 24 se describe el funcionamiento del relé a utilizar (relé de tiempo con retardo a la conexión).

Para la realización de la práctica haga la simulación del circuito de la Figura 22 en el simulador CAdE SIMU. Una vez que entienda cómo funciona armar el circuito como se muestra en figuras 22, 23 y siga los siguientes pasos:

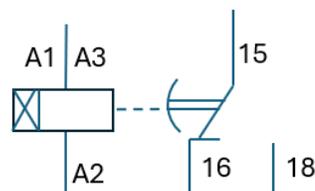


**Figura 22.** Simulación del circuito en CAdE SIMU.

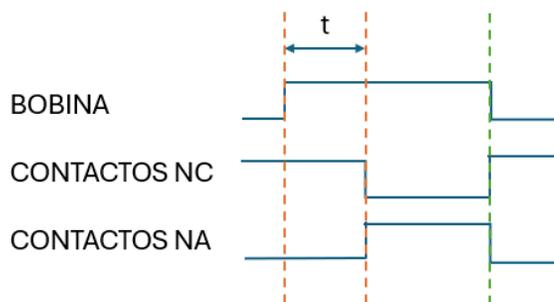


**Figura 23.** Circuito de conexión física.

1. Identifique los bornes de conexión de todos los elementos que componen al circuito.
2. Verifique que los cables de línea y neutro estén desenergizados.
3. Coloque todos los dispositivos a utilizar en los rieles DIN del tablero.
4. Conecte el cable de línea hacia el pulsador de paro y en serie a él, conecte el pulsador de marcha.
5. Conecte el pulsador de marcha en paralelo con el primer contacto NA del contactor.
6. Conecte los bornes superiores de los dos contactos utilizados en el contactor al borne superior del contacto del relé temporizador.
7. Conecte el borne inferior del segundo contacto del contactor hacia el borne A1 del temporizador.
8. Conecte el borne 18 del relé temporizador hacia la lámpara piloto.
9. Conecte los extremos de las lámparas y los bornes A2 de las bobinas hacia el cable de neutro.
10. Verifique las conexiones guiándose de la figura 22 o 23.
11. Configure el tiempo al relé temporizador a 5 segundos.
12. Energice el circuito



Relé de tiempo con retardo a la conexión



**Figura 24.** Comportamiento del relé de tiempo con retardo a la conexión.

## PRUEBAS

Presione el pulsador de marcha.	¿La lámpara está apagada?	SI	NO
Espere 5 segundos	¿La lámpara encendió al finalizar los 5 segundos?	SI	NO
Presione el pulsador de paro.	¿La lámpara se apagó?	SI	NO

Si la respuesta a una o dos de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verificar las conexiones nuevamente.

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Cuando se aplica energía al circuito, pulsando el pulsador de marcha, se cierran los contactos asociados al contactor autorreteniendo el flujo de corriente que pasa a través de él hacia la bobina del contactor. En ese momento se energiza la bobina del relé temporizador con retardo a la conexión y comienza a contar el tiempo con el que fue configurado, una vez concluido, se cierra el contacto NA asociado al relé que está en serie a la lámpara piloto, permitiendo así que esta se encienda.

Al presionar el pulsador de paro se interrumpe el flujo de energía al circuito, se corta la alimentación del relé temporizado en el contactor. Al ser un relé de tiempo con retardo a la conexión, cuando se desenergiza la bobina los contactos conmutan y el contacto se abre, apagando la lámpara piloto.

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Por qué cree que sería útil tener un retardo en la conexión de una lámpara en ciertas situaciones?
2. ¿Qué ventajas y desventajas podría identificar en el uso de un relé temporizado para controlar el encendido de una lámpara en comparación con otros métodos de control?
3. ¿Cuáles podrían ser algunas aplicaciones prácticas adicionales para un circuito con un retardo en la conexión de una lámpara más allá de la iluminación de pasillos o escaleras?
4. ¿Puede pensar en otras formas de aplicar el concepto de retardo en la conexión en diferentes contextos fuera del control de iluminación?

## REFERENCIAS

Guías de apoyo:



Explicación de funcionamiento  
y simulación



Armado físico



## Manual de prácticas del proyecto de tesis “Diseño y construcción de un tablero para prácticas de electricidad y electrónica Industrial”



¿Cómo funcionan los relés temporizadores?

# PRÁCTICA 6

## ENCENDIDO/APAGADO CÍCLICO DE DOS LÁMPARAS MUTUAMENTE EXCLUYENTES

En esta práctica se aprenderá a realizar un proceso de encendido de dos lámparas, se reforzará lo aprendido acerca del relé de tiempo con retardo a la conexión y como esto se aplica en diferentes situaciones, además los estudiantes comprenderán cómo conectar y configurar correctamente los relés temporizados con retardo a la conexión, en un circuito eléctrico, para lograr el efecto deseado.

### OBJETIVOS

#### Objetivo general

- Aprender la aplicación de relés de tiempo con retardo a la conexión en procesos cíclicos.

#### Objetivos específicos

- Comprender el diseño de circuitos eléctricos con retardos y su aplicación en situaciones reales.
- Desarrollar habilidades útiles en el campo de la ingeniería eléctrica y la automatización.
- Conectar e instalar un relé de tiempo para encender una lámpara.
- Explicar los principios básicos de funcionamiento de un relé de tiempo con retardo a la conexión.

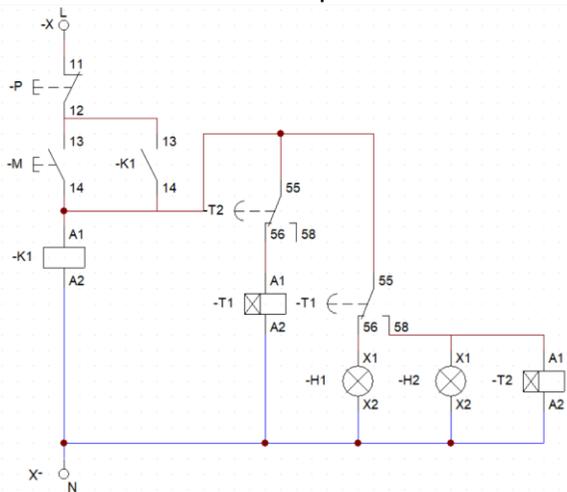
### MATERIALES

- Un contactor.
- Dos lámparas piloto.
- Un pulsador normalmente abierto.
- Un pulsador normalmente cerrado.

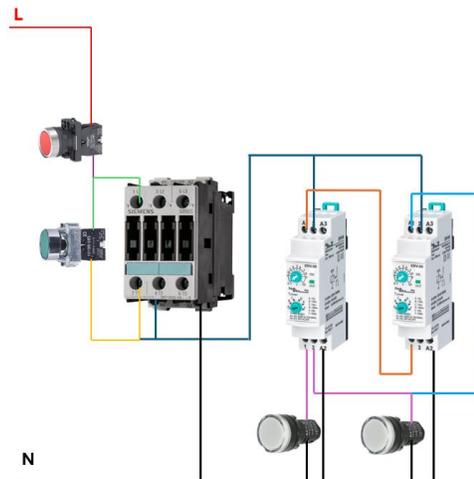
- Dos relés de tiempo con retardo a la conexión.
- Cables eléctricos.
- Herramientas básicas (pelacables, destornilladores, guantes de seguridad).

## DESARROLLO

Los dispositivos utilizados en esta práctica se enlistan en la sección de materiales y pueden identificarse en las figuras 25 y 26; un contactor, dos relevadores de tiempo con retardo a la conexión, dos lámparas pilotos, un interruptor pulsador NA y uno NC. Antes de realizar la práctica se tiene que hacer la simulación de la figura 25 en el CADe SIMU. Una vez que haya entendido como funciona armar la práctica como se describe a continuación.

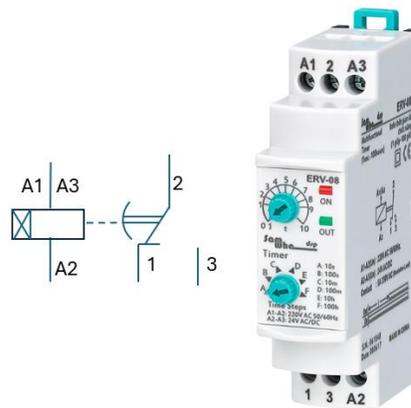


**Figura 25.** Simulación del circuito en CADe SIMU.



**Figura 26.** Circuito de conexión física.

1. Identifique los bornes de conexión de todos los elementos que componen al circuito.
2. Verifique que los cables de línea y neutro estén desenergizados.
3. Coloque todos los dispositivos a utilizar en los rieles DIN del tablero.
4. Conecte el cable de línea hacia el pulsador de paro y en serie a él, conecte el pulsador de marcha.



**Figura 27.** Bornes de conexión del relé temporizador.



5. Conecte el pulsador de marcha en paralelo con el primer contacto NA del contactor.
6. Conecte el borne inferior del relé de marcha hacia el borne A1 del contactor.
13. Conecte el borne inferior del primer contacto del contactor hacia el borne 2 del segundo relé temporizador.
14. Conecte el borne 1 del segundo relé temporizador hacia el borne 2 del primer relé temporizador.
15. Conecte al borne 1 del primer relé temporizador un extremo de la primera lámpara piloto.
16. Conecte al borne 3 del primer contactor un extremo de la segunda lámpara piloto y el borne A1 del segundo relé temporizador.
17. Conecte el borne A2 del contactor a los bornes 2 de cada uno de los relés temporizadores.
18. Conecte los extremos de las lámparas y los bornes A2 de las bobinas hacia el cable de neutro.
19. Verifique las conexiones guiándose de la figura 25 o 26.
20. Configure el tiempo de cada relé temporizador a 5 segundos.
21. Energizar el circuito.

## PRUEBAS

Presione una vez el pulsador de marcha	¿Las lámparas empezaron a encender cíclicamente una después de la otra?	SI	NO
Presione una vez el pulsador de paro	¿Se detuvo el proceso?	SI	NO



Si la respuesta a una o dos de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verificar las conexiones nuevamente.

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Cuando se aplica energía al circuito, presionando el pulsador de marcha, la energía llega al contactor, y como el contacto con el pulsador de marcha están conectadas en paralelo, la bobina autorretiene su estado, el cual puede ser únicamente interrumpido si se presiona el pulsador paro.

Cuando la bobina del contactor se energiza, también lo hace la bobina del primer relé de tiempo, y este comienza a contar el tiempo de retardo preestablecido, durante este tiempo la primera lámpara está encendida y la otra apagada.

Una vez concluido el tiempo, los contactos del primer relé conmutan permitiendo que la corriente fluya hasta llegar al segundo relé para que sea energizado, el temporizador del segundo relé comienza a contar el tiempo de retardo preestablecido, durante este tiempo la segunda lámpara esta encendida y la primera está apagada pues las bobinas del contactor y del primer relé regresan a su estado original las otras bobinas, por lo cual, se desenergiza la bobina T2 y hace que vuelva a cerrar su contacto y energizar a T1.

Una vez concluido el tiempo configurado, en el segundo relé de tiempo, los contactos del segundo relé conmutan permitiendo que la corriente fluya hasta llegar al primer relé de tiempo y repetir el proceso hasta que este sea interrumpido.

Al presionar el pulsador de paro, se interrumpe completamente el flujo de energía a cualquiera de las bobinas, debido a que los contactos regresan a su estado original (normalidad abierta), por lo tanto, las lámparas se apagan.

En resumen, al presionar el pulsador de marcha las lámparas encenderán y apagarán una tras otra cíclicamente teniendo un comportamiento mutuamente excluyente pues cuando una enciende, la otra se apaga.

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Qué factores se deben considerar al seleccionar los relés de tiempo y las lámparas para este circuito?
2. ¿Cómo se debe seleccionar la fuente de alimentación adecuada para el circuito, considerando la potencia de las lámparas?
3. ¿Cómo alternan las lámparas con los relés de tiempo?
4. ¿Cómo cambiar la velocidad del ciclo?
5. ¿En qué casos se utiliza este tipo de circuito?

## REFERENCIAS

Guías de apoyo:



Explicación de funcionamiento y simulación.



Armado físico.



¿Cómo funcionan los relés temporizadores?

# PRÁCTICA 7

## ENCENDIDO SECUENCIAL DE TRES LÁMPARAS

En esta práctica se reforzará lo aprendido acerca de relés temporizados: los estudiantes comprenderán cómo pueden ser aplicados en diferentes situaciones y cómo se pueden utilizar para introducir retardos en la conexión de dispositivos eléctricos como lámparas y el alcance que estos tienen.

Aprenderán a diseñar y construir circuitos eléctricos que incluyan elementos temporizados. Esto implica comprender cómo conectar y configurar correctamente los relés temporizados en un circuito eléctrico para lograr el efecto deseado.

### OBJETIVOS

Objetivo general

- Aprender los principios básicos de funcionamiento de un relé de tiempo con retardo a la conexión.

Objetivos específicos

- Comprender el diseño de circuitos eléctricos con retardos y su aplicación en situaciones reales.
- Desarrollar habilidades útiles en el campo de la ingeniería eléctrica y la automatización.
- Conectar e instalar un relé de tiempo para encender una lámpara.
- Explicar los principios básicos de funcionamiento de un relé de tiempo con retardo a la conexión.

### MATERIALES

- Un contactor.
- Tres lámparas piloto.
- Un pulsador normalmente abierto.
- Un pulsador normalmente cerrado.

- Tres relés de tiempo con retardo a la conexión.
- Cables eléctricos.
- Herramientas básicas (pelacables, destornilladores, guantes de seguridad).

## DESARROLLO

Los dispositivos utilizados en esta práctica se enlistan en la sección de materiales y pueden identificarse en las figuras 28 y 29. En la figura 24, de la práctica 5, se describe el funcionamiento del relé de tiempo con retardo a la conexión, y en la figura 30 su símbolo.

Para el desarrollo de la práctica, simule el circuito de la Figura 28 en el simulador CADe SIMU, una vez que haya entendido la forma en que funciona arme el circuito como se muestra en la figura 29 siguiendo los pasos que a continuación se describen.

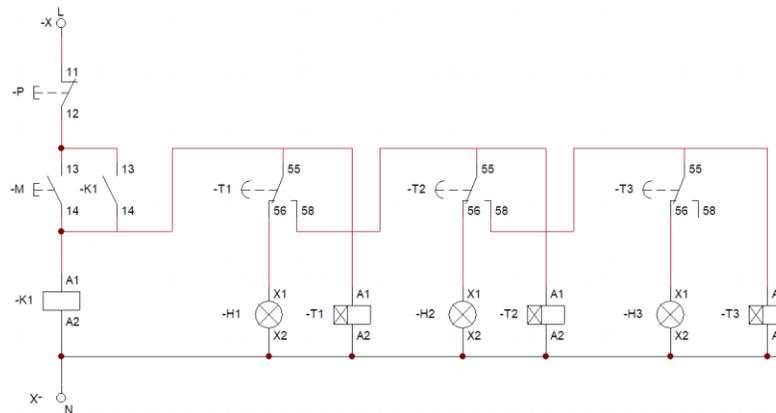


Figura 28. Simulación del circuito en CADe SIMU.

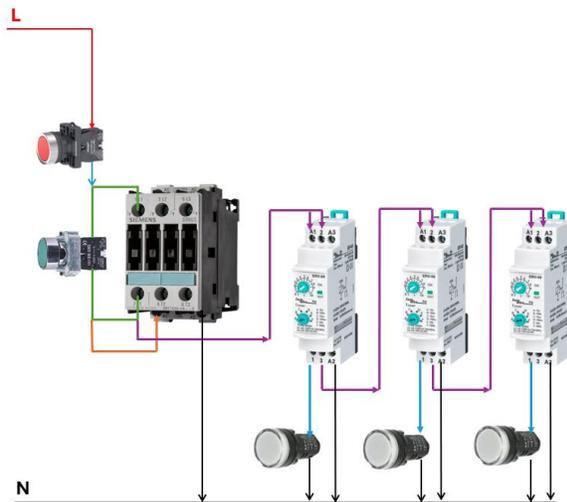
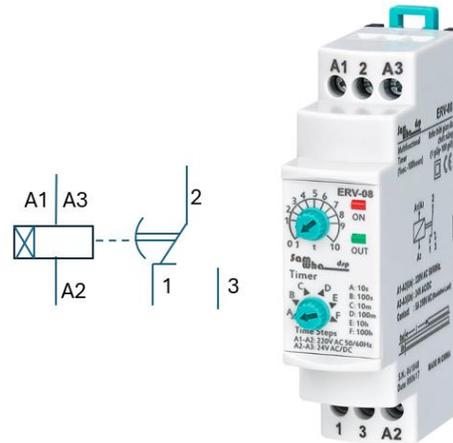


Figura 29. Circuito de conexión física.

1. Identifique los bornes de conexión de todos los elementos que componen al circuito.
2. Verifique que los cables de línea y neutro estén desenergizados.
3. Coloque todos los dispositivos a utilizar en los rieles DIN del tablero.
4. Conecte el cable de línea hacia el pulsador de paro, y en serie a él conecte el pulsador de marcha.
5. Conecte el pulsador de marcha en paralelo con el primer contacto NA del contactor.
6. Conecte el borne inferior del relé de marcha hacia el borne A1 del contactor.
7. Conecte el borne inferior del primer contacto del contactor hacia el borne A1 y 2 del primer relé temporizador.
8. Conecte el borne 3 del primer relé temporizador hacia el borne A1 y 2 del segundo relé temporizador.
9. Conecte el borne 3 del segundo relé temporizador hacia el borne A1 y 2 del tercer relé temporizador.
10. Conecte cada lámpara piloto a cada borne 1 de cada relé temporizador.
11. Conecte los extremos de las lámparas y los bornes A2 de las bobinas hacia el cable de neutro.
12. Verifique las conexiones guiándose de la figura 28 o 29.
13. Configure el tiempo de cada relé temporizador a 5 segundos.
14. Energice el circuito.



**Figura 30.** Bornes de conexión del relé temporizador.

Presione una vez el pulsador de marcha	¿Las lámparas encendieron secuencialmente 5 segundos cada una?	SI	NO
Presione una vez el pulsador de marcha y cuando aún no se concluya el ciclo de secuencia de las tres lámparas presione el pulsador de paro.	¿La lámpara que estaba encendida se apagó definitivamente?	SI	NO

Si la respuesta a una o dos de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verifique las conexiones nuevamente.

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Cuando se presiona el pulsador de marcha se energiza al circuito, la cual activa al circuito y llega al relé temporizado. Después de esto el temporizador del primer relé comienza a contar el tiempo de retardo preestablecido, durante este tiempo la primera lámpara permanece encendida y las otras dos apagadas.

Una vez concluido el tiempo los contactos del primer relé conmutan permitiendo que la corriente fluya y hace que el segundo relé se energice. El temporizador del segundo relé comienza a contar el tiempo de retardo preestablecido, durante este tiempo la segunda lámpara esta encendida y las otras dos apagadas.

Una vez concluido el tiempo los contactos del segundo relé conmutan permitiendo que la corriente fluya hasta llegar al tercer relé y se energice. El temporizador del tercer relé comienza a contar el tiempo de retardo preestablecido, durante este tiempo la tercera lámpara esta encendida y las otras dos apagadas. Una vez concluido el tiempo los contactos del tercer relé conmutan y la tercera lámpara se apaga.

Al repetir el proceso y presionar el pulsador de paro, se interrumpe completamente el flujo de energía a cualquiera de las bobinas, por lo tanto, el proceso se interrumpe.

En resumen, el funcionamiento del circuito implica el uso de un relé temporizado, para encender una lámpara con retardo a la conexión, que introduce un retardo controlado en la activación de la lámpara después de recibir una señal de activación inicial. Este retardo permite ajustar el tiempo entre la activación del circuito y la iluminación de la lámpara según las necesidades específicas de la aplicación.

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Qué factores podrían influir en la determinación del tiempo de retardo adecuado para este tipo de circuito?
2. ¿Cómo cree que se podría ajustar el diseño del circuito para adaptarse a diferentes situaciones de iluminación?
3. ¿Cuáles serían algunos posibles problemas o desafíos al implementar un circuito de este tipo y cómo se podrían abordar?
4. ¿Existen situaciones en las que un retardo en la conexión de la lámpara podría ser inconveniente o incluso peligroso?
5. ¿Cómo cree que este tipo de circuito podría contribuir a la eficiencia energética en un entorno residencial o comercial?

## REFERENCIAS

Guías de apoyo:



Explicación de funcionamiento y simulación.



Armado físico.



¿Cómo funcionan los relés temporizadores?

# PRÁCTICA 8

## ARRANQUE DIRECTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO

En esta práctica se explorarán los fundamentos teóricos del arranque directo de motores de inducción trifásicos y se aplicarán estos en un montaje práctico al controlar el arranque y paro de un motor de inducción. Al realizar el arranque y paro, así como analizar los resultados se espera que se mejore la comprensión de los conceptos y se adquieran habilidades prácticas en el manejo de equipos eléctricos.

### OBJETIVOS

#### Objetivo general

- Comprender y aplicar los principios básicos del arranque directo de motores trifásicos, además analizar las características de motor trifásico.

#### Objetivos específicos

- Calcular la corriente de arranque y compararla con el valor nominal del motor.
- Realizar las conexiones eléctricas de un circuito de arranque directo según un diagrama esquemático.
- Realizar la simulación del circuito a arranque directo de un motor trifásico.

### MATERIALES

- Un contactor.
- Un bloque de contactos auxiliares.
- Un pulsador normalmente abierto.
- Un pulsador normalmente cerrado.
- Un motor trifásico.

### DESARROLLO

Los dispositivos utilizados en esta práctica se enlistan en la sección de materiales y pueden identificarse en las figuras 31 y 32; un contactor, un bloque

de contactos auxiliares, un pulsador normalmente abierto, un pulsador normalmente cerrado, un motor trifásico de 5 HP.

El motor que se va a controlar es de inducción trifásico, en la figura 33 se muestra su placa de datos. Para entender qué significa cada parámetro se realizó un vídeo en el que se explican.

Uno de los principales parámetros a tomar en cuenta para dimensionar el contactor y circuitos de protección es la corriente de arranque, la cual se puede calcular con la ecuación 1.

$$I_L = \frac{S_{arranque}}{\sqrt{3} * V_T} \quad (1)$$

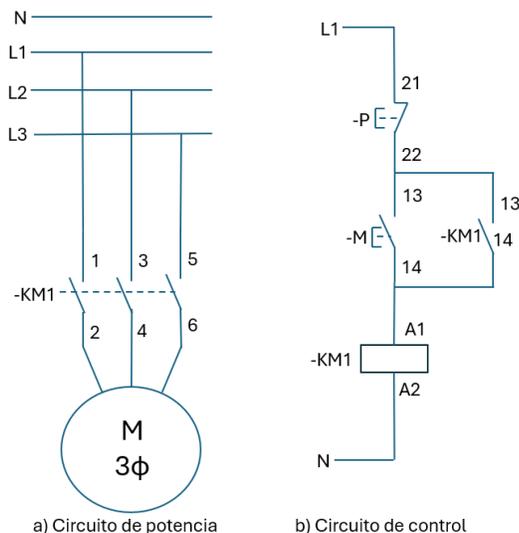
Donde:

$$S_{arranque} = (\text{caballaje nominal})(\text{factor de letra de código}) \quad (2)$$

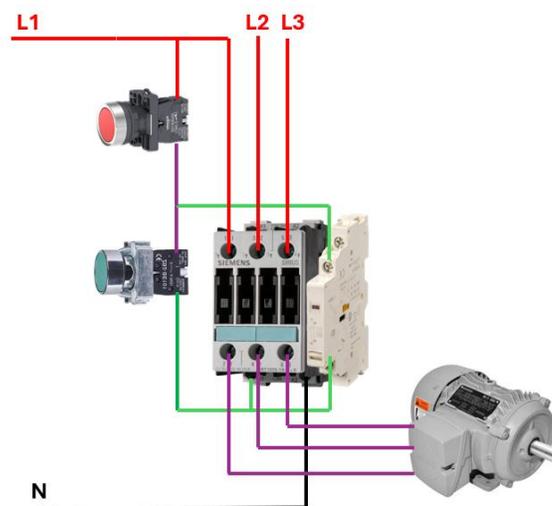
**$S_{arranque}$ :** Potencia Aparente de arranque del motor (kVA)  
 **$I_L$ :** Corriente de arranque  
 **$V_T$ :** Voltaje de alimentación

Con la ecuación anterior y los datos de la placa del motor de la figura 33 se obtiene una corriente de arranque de 78.309 A para el motor.

Para la realización de la práctica primero se recomienda simular el circuito de la Figura 31 en el software CADe SIMU. Una vez que se entiendan las conexiones y cómo funciona el circuito, se procede al armado de la Figura 32, el cual se describe a continuación.



**Figura 31.** Circuito de potencia y control de arranque de un motor trifásico.



**Figura 32.** Circuito de conexión física.

1. Identifique los bornes de conexión de todos los elementos que componen al circuito.
2. Verifique que el tablero de pruebas esté desenergizado.
3. Coloque todos los dispositivos a utilizar en los rieles DIN del tablero.
4. Realice las conexiones del circuito de control.
  - a. Conecte el cable de línea hacia el pulsador de paro y en serie a él, conecte el pulsador de marcha.
  - b. Conecte el pulsador de marcha en paralelo con contacto NA del bloque de contactos auxiliares del contactor.
  - c. Conecte el borne inferior del pulsador de marcha hacia el borne A1 del contactor.
  - d. Conecte el borne A2 de la bobina del contactor hacia el neutro.
5. Conecte circuito de control.
  - a. Conecte las tres fases de la red trifásica a los bornes superiores de los contactos principales del contactor.
  - b. Conecte los bornes inferiores del contactor al motor según lo indique su placa de datos.
6. Verifique las conexiones guiándose de la figura 31 o 32.
7. Energice únicamente el circuito de control.



**Figura 33.** Placa de datos del motor trifásico.

Presione una vez el pulsador de marcha	¿El contactor conmutó y mantiene ese estado?	SI	NO
Presione el pulsador de paro.	¿El contactor volvió a su estado de reposo?	SI	NO

Si la respuesta a una o dos de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verificar las conexiones nuevamente, si las respuestas fueron “SI”, continúe a hacer las pruebas finales del circuito como se indica a continuación.

8. Energice el circuito de potencia y responda lo siguiente:

Presione una vez el pulsador de marcha	¿El motor encendió y se mantiene encendido?	SI	NO
Presione el pulsador de paro.	¿El motor se apagó?	SI	NO

Si la respuesta a una o dos de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verifique las conexiones nuevamente.

Pruebas para medir la corriente:

Para medir la corriente utilice un multímetro de gancho que tenga la opción de medición de corriente de arranque (como el amperímetro FLUKE 335), colóquelo en su función INRUSH, encienda el motor y registre la corriente de arranque. Compárela con la corriente de arranque calculada.

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Al pulsar el interruptor pulsador, se energiza la bobina del contactor, conmutando los contactos asociados a él (principales y auxiliares), uno de los contactos auxiliares NA está conectado de tal manera que se autorretenga, permitiendo el flujo de corriente a bobina, aunque el botón pulsador deje de presionarse. Al mismo tiempo, como los contactos principales del contactor (pertenecientes al circuito de potencia) están cerrados, la corriente puede fluir a través de ellos y llegar al motor energizándolo, haciendo que trabaje a tensión plena.

Al presionar el pulsador de apagado, se abre el circuito de retención, desenergiza la bobina y conmuta los contactos principales y auxiliares, interrumpiendo el flujo de corriente hacia el motor.

La configuración de retención en el contactor permite mantener la carga activa sin necesidad de mantener el interruptor pulsador presionado y reduce el desgaste del interruptor pulsador.

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Cuál es la principal diferencia entre un circuito de control y uno de potencia? ¿Por qué es importante mantenerlos separados?
2. ¿Cuál fue la corriente de arranque calculada? ¿Se aproxima a la corriente de arranque real del motor?
3. ¿Qué añadiría al circuito de control para hacerlo más completo?
4. ¿Cuáles son los fallos más comunes en un circuito de control y potencia de un motor trifásico? ¿Cómo se pueden diagnosticar y solucionar?

## REFERENCIAS

Guías de apoyo:



Explicación de funcionamiento  
y simulación



Armado físico



¿Cómo leer la placa de un  
motor?

# PRÁCTICA 9

## CIRCUITO INVERSOR DE GIRO PARA UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO

El objetivo de esta práctica es que al realizarla se comprenda la forma de construir un circuito eléctrico que invierte el sentido de giro de un motor de inducción trifásico mediante el cambio de conexión de dos de las tres fases que alimentan al motor, con lo que se invierte el campo magnético rotatorio y con ello sentido de giro.

Con la realización de esta práctica se espera que se refuerce lo aprendido sobre los circuitos de control y de potencia, así como su uso en diferentes situaciones, en particular en la inversión del sentido de giro de un motor trifásico. Los estudiantes aprenderán a diseñar y construir circuitos eléctricos que incluyan motores trifásicos. Esto implica comprender cómo conectar y configurar correctamente los motores en un circuito eléctrico para lograr el efecto deseado.

### OBJETIVOS

#### Objetivo general

- Implementar y analizar un circuito de control que permita invertir el sentido de giro de un motor trifásico, utilizando contactores y pulsadores, con el fin de comprender los principios básicos de control de motores eléctricos y aplicarlos en sistemas electromecánicos.

#### Objetivos específicos

- Comprender el diseño de circuitos de potencia y control.
- Realizar la conexión cableada de un circuito de potencia y control.
- Comprender el funcionamiento de dispositivos de protección como interruptores automáticos y relevadores térmicos.

### MATERIALES

- 1 Interruptor automático para el circuito de control.
- 1 Interruptor automático para el circuito de potencia.



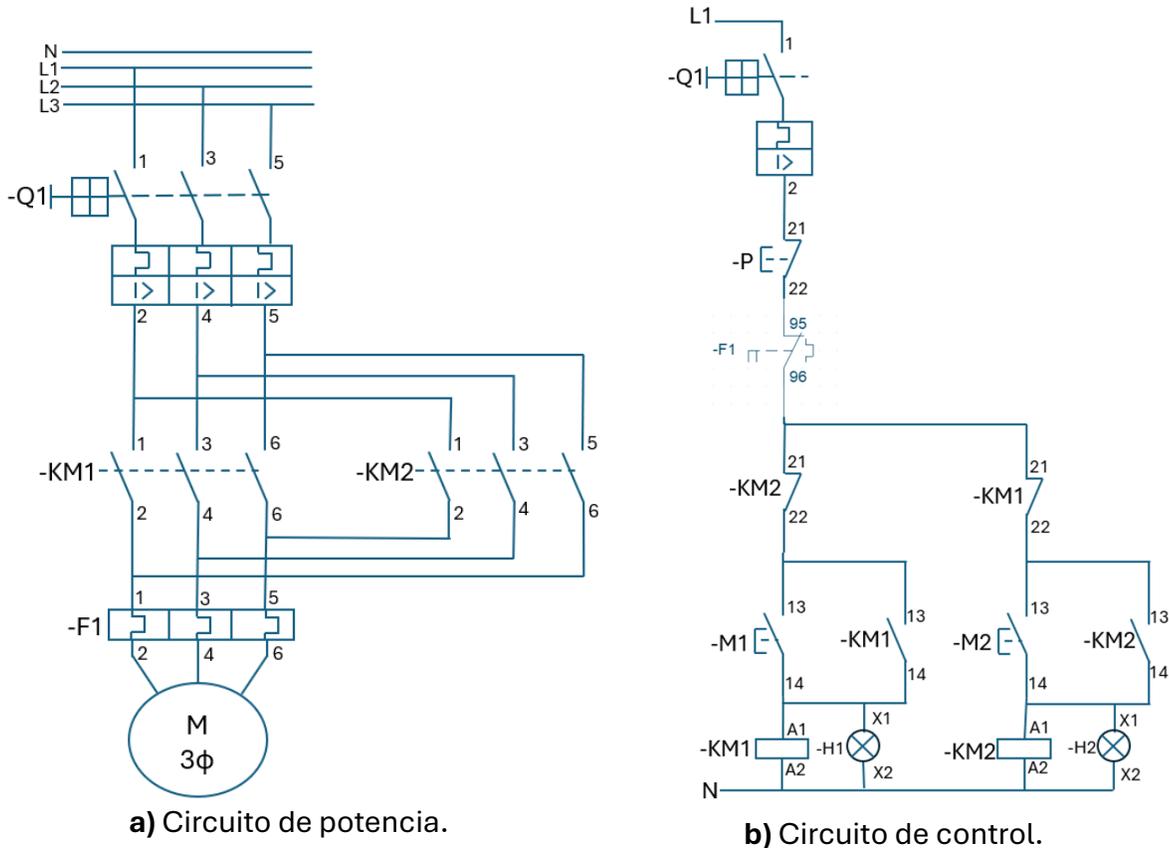
- 2 Contactores.
- 2 Bloques de contactos auxiliares.
- 1 Relé térmico.
- 2 Pulsadores NA (marcha).
- 2 Lámparas piloto.
- 1 Pulsador NC (paro).
- 1 Motor trifásico.

## DESARROLLO

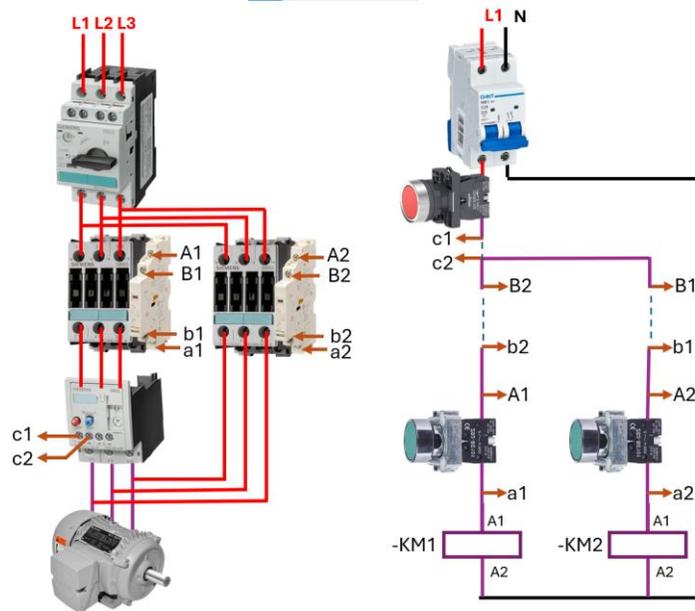
Los dispositivos utilizados en esta práctica se enlistan en la sección de materiales y pueden identificarse en las figuras 34 y 35, los cuales son: un interruptor automático para el circuito de control, un interruptor automático para el circuito de potencia, dos contactores, dos bloques de contactos auxiliares, 1 relé térmico, dos pulsadores NA (marcha), dos lámparas piloto, un pulsador NC (paro) y un motor trifásico.

En la Figura 35, las etiquetas A1-a1 y A2-a2, representan los bornes de conexión de contactos NA en los bloques de contactos auxiliares, mientras que los B1-b1 y B2-b2, representan los bornes de conexión de contactos NC en los bloques de contactos auxiliares, siendo las etiquetas con terminación 1 las correspondientes al bloque de contactos auxiliares al primer contactor (izquierdo) y las de terminación 2 correspondientes al segundo contactor (derecho).

En la figura 36 se muestran las posiciones de un interruptor automático utilizado como dispositivo de protección. Un interruptor automático es un dispositivo diseñado para proteger un circuito eléctrico de sobrecargas y cortocircuitos.



**Figura 34.** Circuito de potencia y control para la inversión de giro de un motor trifásico.



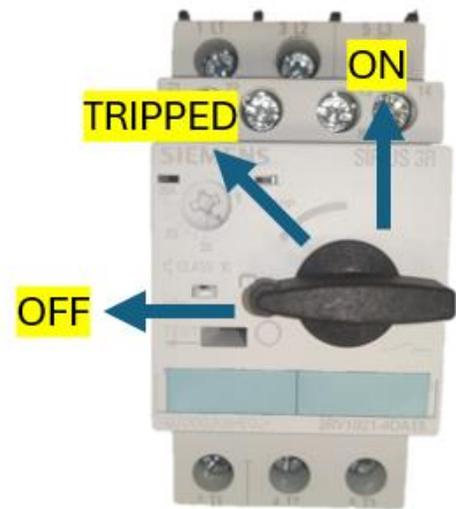
**Figura 35.** Diagrama de conexión física.

Las tres posiciones que se mencionan en la Figura 36 son fundamentales para su funcionamiento. Cuando la manecilla del interruptor está en la posición OFF, los contactos del dispositivo están abiertos y no permiten el paso de corriente eléctrica. Cuando el dispositivo está en la posición ON los contactos están cerrados, por lo que se permite el paso de corriente eléctrica hacia el circuito que protege. Finalmente, cuando el interruptor entra en la posición TRIPPED, indica que el interruptor ha detectado una anomalía en el circuito, como una sobrecarga de corriente o un cortocircuito. Al detectar esta situación, los contactos del dispositivo se abren, interrumpiendo el flujo de corriente y evitando posibles daños a los equipos conectados o a la instalación eléctrica.

Las posiciones de un interruptor automático son fundamentales para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de un circuito de maniobra.

Antes de realizar la práctica se recomienda replicar el circuito de potencia y control en el simulador CAdE SIMU, para entender cómo funciona y cómo se realizan las conexiones. Una vez que se hayan comprendido los circuitos de control y potencia, realice el armado de la práctica que se explica a continuación.

1. Identifique los bornes de conexión de todos los elementos que componen los circuitos de potencia y control.
2. Verifique que el tablero de pruebas este desenergizado.
3. Coloque todos los dispositivos a utilizar en los rieles DIN del tablero.
4. Coloque los interruptores automáticos en la parte superior del tablero, conecte las tres fases de alimentación al primer interruptor automático (para energizar el circuito de potencia) y una de ellas al segundo interruptor automático (para energizar el circuito de control).
5. Coloque los dos interruptores automáticos en la posición OFF.
6. Ajuste la corriente nominal en el interruptor correspondiente a lo indicado en la placa del motor.
7. Realice las conexiones del circuito de control.



**Figura 36.** Posiciones de un Interruptor automático.

8. Realice las conexiones del circuito de potencia.
9. Verifique las conexiones guiándose de la figura 34 y 35.
10. Energizar únicamente el circuito de control: coloque el interruptor del circuito de control en la posición ON y verifique que este funcione correctamente (las lámparas deben encender de manera excluyente).
11. Coloque el interruptor del circuito de control en la posición ON.

## PRUEBAS

Presione una vez el pulsador de marcha a la derecha	¿Una de las lámparas encendió y el motor comenzó a girar a la derecha?	SI	NO
Mientras el motor está encendido, presione el pulsador de marcha a la izquierda.	¿El motor siguió funcionando con normalidad?	SI	NO
Presione el pulsador de paro.	¿El motor y la lámpara se apagaron?	SI	NO
Presione una vez el pulsador de marcha a la izquierda	¿La lámpara que se encendió en la prueba anterior esta apagada, la otra lámpara esta encendida y el motor comenzó a girar a la izquierda?	SI	NO
Presione el pulsador de paro.	¿El motor y la lámpara se apagaron?	SI	NO
Mientras el motor está encendido, presione el pulsador de marcha a la derecha	¿El motor siguió funcionando con normalidad?	SI	NO



Si la respuesta a una o dos de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verifique las conexiones nuevamente.

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

En el circuito de control están presentes dos botones pulsadores destinados para marcha a la izquierda y a la derecha. Al presionar un botón pulsador del circuito de control, se energiza el contactor correspondiente, lo que hace que sus contactos conmuten y a su vez se autorretengan, debido a la configuración establecida. Al conmutar el juego de contactos principales respectivos a cada contactor se establece la conexión de las líneas al motor, provocando el giro del motor a la derecha o a la izquierda según sea el caso.

Los contactos auxiliares de los contactores se utilizan para interbloquearlos, es decir, para evitar que ambos contactores estén energizados al mismo tiempo y con ello provocar un cortocircuito.

Al conmutar los contactos del contactor, se establece una conexión entre la fuente de alimentación trifásica y el motor, permitiendo que la corriente fluya a través de las bobinas del estator. La secuencia en la que se conectan las fases al motor determina el sentido de rotación del campo magnético y, por lo tanto, el sentido de giro del rotor.

Para invertir el sentido de giro, se desconecta un contactor y se activa otro, lo que provoca un cambio en la secuencia de conexión de las fases.

El circuito de control es la parte encargada de controlar el funcionamiento del circuito de potencia, es decir, de encender, apagar y cambiar el sentido de giro del motor.

Componentes principales:

Pulsadores:

- Botones que al ser presionados envían una señal eléctrica para activar o desactivar los contactores.

Interruptores automáticos o interruptores termomagnéticos:

- Protegen el circuito contra sobrecorrientes y cortocircuitos.

Al presionar el pulsador correspondiente, se energiza el contactor asociado a ese sentido de giro. Los contactos del contactor se cierran, conectando las fases del motor en la secuencia correcta para producir el sentido de giro deseado.

Al presionar el pulsador de parada se desenergiza el contactor e interrumpe la alimentación del motor.

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Por qué es importante poder invertir el sentido de giro de un motor trifásico en aplicaciones industriales?
2. ¿Qué otros métodos conoce para invertir el sentido de giro de un motor trifásico además del uso de contactores?

3. ¿Cómo se asegura de que solo un contactor esté energizado a la vez para evitar cortocircuitos?
4. ¿Qué pasaría si se conectaran los tres terminales del motor a la misma fase?

## REFERENCIAS

Guías de apoyo:



Explicación de funcionamiento y simulación.



Armado físico.



¿Cómo leer la placa de un motor?

# PRÁCTICA 10

## SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LLENADO DE UN TINACO

En esta práctica se aprenderá, mediante simulación, el sistema de control automático para el llenado un tinaco de agua evitando desbordamientos y garantizando un suministro constante de agua, el cual va a utilizar una bomba de agua con un motor de inducción trifásico y sus circuitos de control y potencia. El circuito tendrá un modo manual y un modo automático.

### OBJETIVOS

Objetivo general

- Que el estudiante comprenda como se implementa un sistema eléctrico en una aplicación real.

Objetivos específicos

- Comprender el diseño de circuitos de potencia y control.
- Comprender el funcionamiento de dispositivos de protección como interruptores automáticos y relevadores térmicos.
- Comprender como este sistema puede ser instalado para una aplicación real.

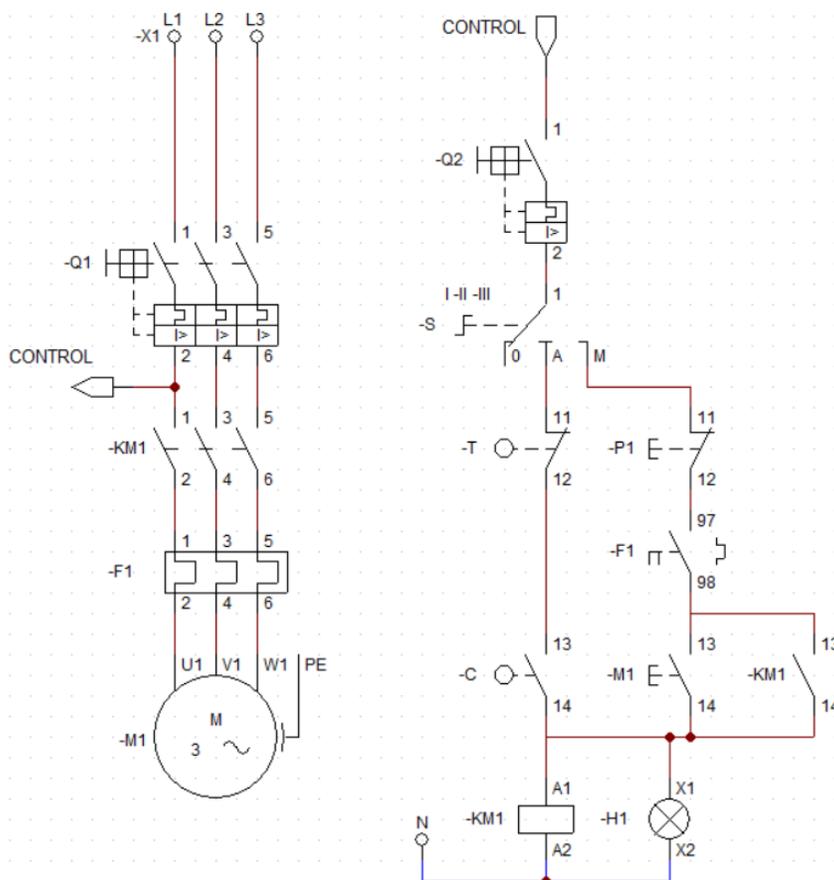
### MATERIALES

- 1 Interruptor automático para el circuito de control.
- 1 Interruptor automático para el circuito de potencia.
- 1 Contactor.
- 1 Bloque de contactos auxiliares.
- 1 Relé térmico.
- 1 Pulsador NA (marcha).

- 1 Lámpara piloto.
- 1 Pulsador NC (paro).
- 1 Motor trifásico.
- 2 interruptores de nivel (NA y NC).
- 1 Interruptor selector de tres posiciones.

## DESARROLLO

Los dispositivos utilizados en esta práctica se enlistan en la sección de materiales y pueden identificarse en la Figura 38. Se recomienda replicar la simulación en CADeSIMU como se muestra en la Figura 37, antes de implementar la práctica.



**Figura 37.** Simulación del circuito de potencia y control en CADe SIMU

Debido a que no se cuenta con un entorno real para el desarrollo de esta práctica, se emularán los interruptores de nivel con interruptores convencionales, y se desprecia la

instalación hidráulica concentrándose únicamente en el encendido y apagado del motor en la situación correcta. Es decir, se deberá observar que el motor arranque y apague según una situación hipotética forzada con los interruptores convencionales.

Se utiliza un interruptor NC (interruptor de nivel del tinaco) y uno NA (interruptor de nivel de la cisterna). Esta configuración asegura que el motor no se encienda cuando la cisterna este vacía, previniendo daños en el mismo. Para que el motor se encienda ambos interruptores deberán estar cerrados, se describe el comportamiento del sistema en modo automático en la siguiente tabla.

Interruptor del tinaco (NC)	Interruptor de la cisterna (NA)	MOTOR
CERRADO	ABIERTO	APAGADO
CERRADO	CERRADO	ENCENDIDO
ABIERTO	ABIERTO	APAGADO
ABIERTO	CERRADO	APAGADO

Las conexiones reales del circuito se muestran en la Figura 38; realice las conexiones en el tablero de pruebas sustituyendo los interruptores de boya por interruptores convencionales y observe su funcionamiento.

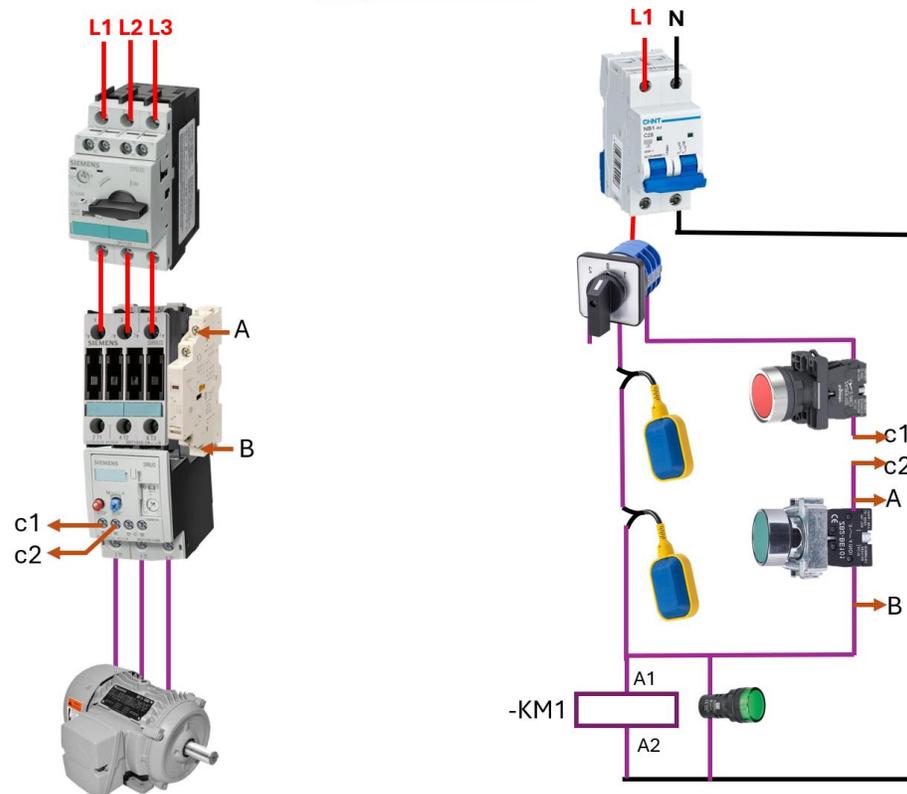
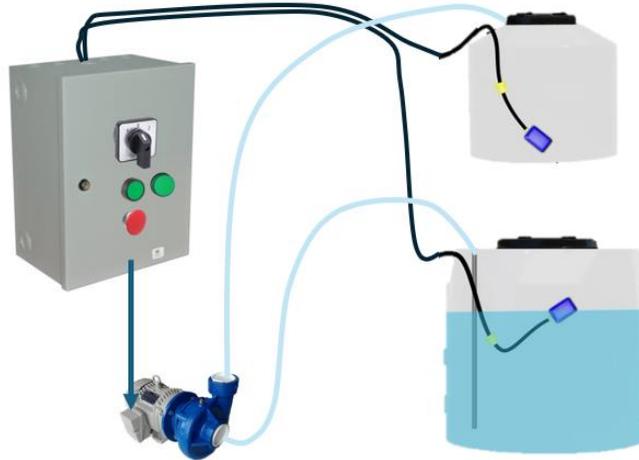


Figura 38. Diagrama de conexión física.

Si se quisiera implementar este circuito en un entorno real, el diagrama general de conexión se muestra en la Figura 39.



**Figura 39.** Diagrama general de instalación.

## PRUEBAS

1. Verifique que los interruptores estén en su normalidad
2. Energice el circuito de control
3. Coloque el selector de tres posiciones en su posición manual

Presione el pulsador de marcha	¿El contactor se accionó?	SI	NO
Presione el pulsador de paro	¿El contactor volvió a su estado de reposo?	SI	NO

4. Coloque el selector de tres posiciones en su posición automática

Conmute el interruptor correspondiente a la cisterna (NA)	¿El contactor se accionó?	SI	NO
Conmute el interruptor correspondiente al tinaco (NC)	¿El contactor volvió a su estado de reposo?	SI	NO

5. Energice el circuito de control y cambie el selector al modo manual



Presione el pulsador de marcha	¿El motor encendió?	SI	NO
Presione el pulsador de paro	¿El motor se apagó?	SI	NO

6. Coloque el selector de tres posiciones en su posición automática

Conmute el interruptor correspondiente a la cisterna (NA)	¿El motor encendió?	SI	NO
Conmute el interruptor correspondiente al tinaco (NC)	¿El motor se apagó?	SI	NO
Realice más pruebas en el modo automático basándose en la tabla de comportamiento automático.			

Si la respuesta a una o dos de las preguntas fue “NO”, desenergice el circuito y verifique las conexiones nuevamente.

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Modo automático: Cuando el interruptor selector está en la posición "automático" y los dos interruptores de nivel están cerrados (indicando que el nivel del agua en el tinaco es bajo y la cisterna tiene suficiente agua), se energiza la bobina del contactor. Esto provoca que los contactos principales del contactor se cierren, permitiendo que el motor eléctrico se encienda y bombee agua al tinaco. Si alguno de los interruptores de nivel se abre (indicando que el tinaco está lleno o que la cisterna ya no tiene agua), se interrumpe la alimentación de la bobina del contactor, el motor se detiene y el bombeo se detiene.

Modo manual: Al colocar el interruptor selector en la posición "manual" y presionar el botón pulsador de "marcha", se energiza la bobina del contactor. Un contacto auxiliar del contactor se cierra, manteniendo el circuito energizado incluso si se suelta el botón pulsador (configuración de enclavamiento). Esto permite que el motor continúe funcionando hasta que se desee detenerlo, lo cual se logra colocando el interruptor selector en la posición "cero".

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Qué medidas de seguridad adicionales se podrían implementar en este sistema para proteger a las personas y los equipos en caso de falla?
2. ¿Cómo se podría optimizar el sistema para reducir el consumo de energía?
3. ¿Qué modificaciones se podrían realizar al sistema para agregar nuevas funcionalidades? (Por ejemplo, un sistema de control remoto, un sensor de calidad del agua o la integración con otros sistemas domóticos).
4. ¿Cuál sería el plan de mantenimiento preventivo para este sistema? ¿Qué componentes requerirían una inspección o reemplazo periódico?

## REFERENCIAS

Guías de apoyo:



Explicación de funcionamiento y simulación.

# PRÁCTICA 11

## MEDICION DE VARIABLES ELÉCTRICAS

El medidor de variables eléctricas PowerLogic PM650 es un instrumento de medición de alta precisión diseñado para analizar el comportamiento de los sistemas eléctricos. En esta práctica se aprenderá a operar el medidor PowerLogic PM650.

### OBJETIVOS

#### Objetivo general

Aprender a utilizar el medidor de potencia Power Logic PM650

### MATERIALES Y EQUIPO

Guantes de seguridad

Tablero para Prácticas de Electricidad y Electrónica Industrial

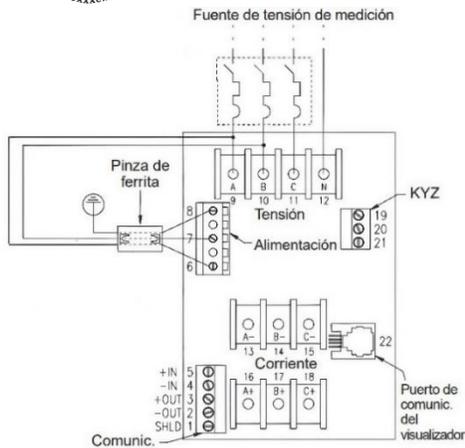
Medidor de variables eléctricas PowerLogic PM650

Transformadores de corriente de núcleo ranurado

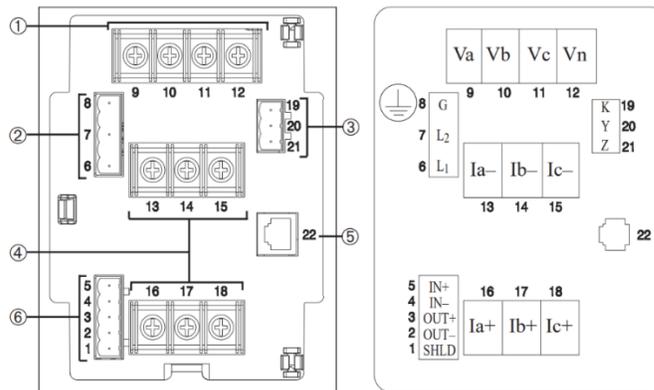
### DESARROLLO

El medidor dispone de un visualizador para observar las variables medidas y realizar ajustes localmente. Se describen las conexiones generales en la siguiente lista y se muestran en la Figura 41.

1. Entradas de tensión de 3 fases
2. Terminales de alimentación
3. Salida de impulsos KYZ
4. Entradas de corriente de 3 fases
5. Puerto de comunicación para el visualizador
6. Terminal de comunicaciones RS-485



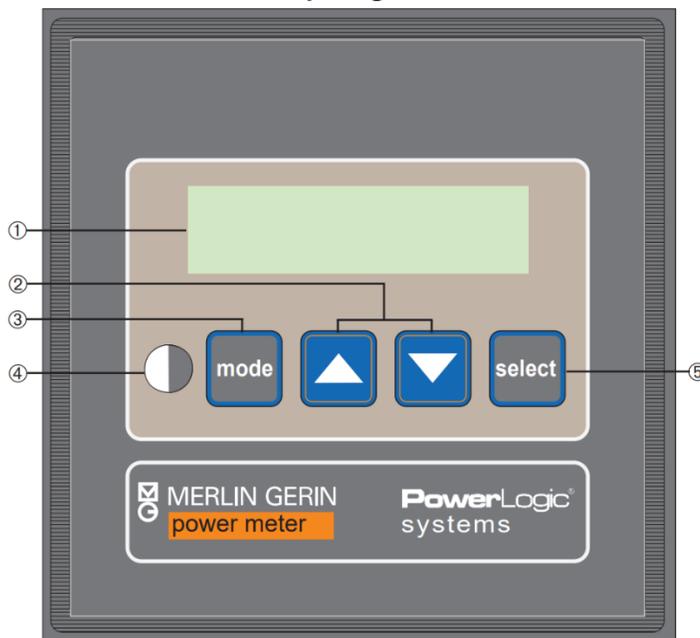
**Figura 40.** Conexión de alimentación del sistema.



**Figura 41.** Vista frontal de la unidad e identificadores.

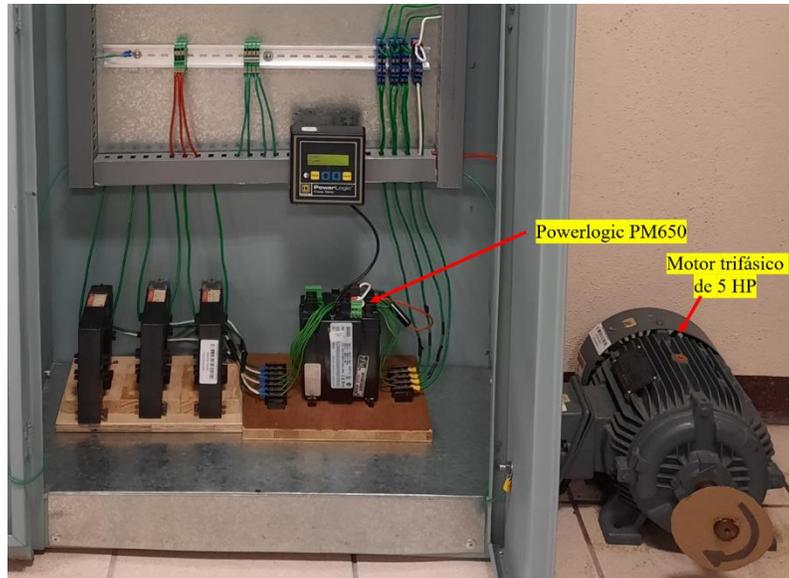
La pantalla de visualizar y hacer las configuraciones localmente se describen a continuación y se señalan en la Figura 42.

1. Pantalla para la visualización local de los valores medidos.
2. Botones de flechas: para desplazarse a través de las pantallas del visualizador. En los modos de configuración, restablecimiento y diagnóstico sirven para cambiar los valores.
3. Botón mode: para recorrer los modos disponibles.
4. Botón de contraste: para cambiar el contraste de la pantalla.
5. Botón select: para seleccionar los modos y los valores de los modos de configuración, restablecimiento y diagnóstico.



**Figura 42.** Componentes del visualizador del Power Meter.

El medidor Powerlogic PM650 se encuentra fijo en el tablero como se muestra en la Figura 43, este está conectado a la toma de alimentación trifásica por lo tanto no es necesario realizar conexiones para utilizarlo, sin embargo, también se puede usar directamente cuando se realizan circuitos de potencia y control. Para la medición de corriente se requieren transformadores de corriente, ya que la corriente máxima que puede medir es de  $\pm 5$  A, por lo que con transformadores se aumenta el rango de medición. En este caso se usan transformadores de corriente de 500 A a 5 A.



**Figura 43.** Medidor de variables eléctricas en el tablero.

## PRUEBAS

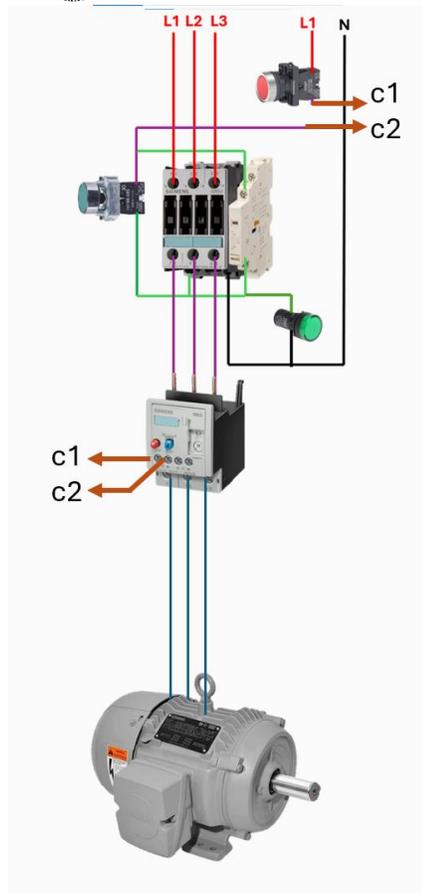
### Prueba 1. Medición de variables eléctricas en la toma trifásica

1. Conecte la clavija trifásica del tablero a un contacto de alimentación trifásico.
2. Accione las pastillas de la fuente trifásica en la caja de control.
3. Verifique que el medidor de variables este encendido.
4. Ajuste el contraste de la pantalla si es necesario.
5. Presione el botón Mode para seleccionar el Modo deseado (se recomienda el modo Summary y Min/Max).
6. Una vez encontrado el modo presione el botón select para ingresar al modo.
7. Navegue con las flechas para visualizar los parámetros disponibles en el modo y observe los parámetros.
8. Tome las mediciones y navegue entre los modos deseados.
9. Desconecte al tablero de la toma de alimentación trifásica.

### Prueba 2. Medición de variables eléctricas en un circuito de potencia y control

1. Verifique el que tablero de prácticas esté desenergizado y que los interruptores automáticos estén en la posición 0.
2. Seleccione el circuito a implementar (se recomiendan las prácticas 8, 9 y 10). Se recomienda simular los circuitos antes de implementarlos.
3. Implemente los circuitos de control y de potencia. Utilice las salidas de los dispositivos de protección fijos en el tablero.
4. Conecte la clavija trifásica del tablero a un contacto de alimentación trifásico
5. Accione las pastillas de la fuente trifásica en la caja de control
6. Verifique que el medidor de variables este encendido
7. Ajuste el contraste de la pantalla si es necesario
8. Energice su circuito de control (Coloque el interruptor automático en la posición 1).
9. Verifique que su circuito de control funcione correctamente.
10. Energice su circuito de potencia (Coloque el interruptor automático en la posición 1).
11. Verifique que su sistema funcione correctamente.
12. Presione el botón Mode para seleccionar el Modo deseado en el medidor de variables eléctricas (se recomienda el modo Summary y Min/Max).
13. Una vez encontrado el modo presione el botón Select para ingresar al modo.
14. Navegue con las flechas para visualizar los parámetros disponibles en el modo y observe los parámetros.
15. Tome las mediciones y navegue entre los modos deseados
16. Desconecte al tablero de la toma de alimentación trifásica

Se muestra un ejemplo de uso en la Figura 44.



**Figura 44.** Arranque directo de motor trifásico

## EXPLICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Hay tres sensores de corriente los cuales están instalados en una posición fija, lo que significa que están diseñados para medir de forma continua la corriente que circula por cada una de las tres líneas del sistema trifásico. Cada sensor está conectado directamente a una de las líneas (línea 1, línea 2 y línea 3), lo que permite una medición precisa y en tiempo real de la corriente en cada fase. Los sensores detectan el flujo de electrones a través de cada línea y convierten esta información en señales eléctricas proporcionales a la intensidad de la corriente.

El medidor utiliza algoritmos complejos para procesar las señales recibidas de los sensores y calcular una amplia gama de parámetros eléctricos. Además de los sensores de corriente dedicados a cada una de las tres líneas, el medidor también está equipado con sensores de voltaje. Estos sensores permiten medir:

- Voltaje de Línea a Neutro: La diferencia de potencial entre cada fase y el neutro.
- Voltaje de Línea a Línea: La diferencia de potencial entre dos fases cualesquiera.

A partir de las mediciones con los sensores que tiene el equipo, este entrega algunos otros parámetros como; Calidad de la Energía (Permite evaluar la estabilidad y la

calidad de la energía suministrada), Cálculos de Potencia (Combinado con las mediciones de corriente, se utilizan para calcular la potencia activa, reactiva y aparente, así como el factor de potencia), entre otros.

## PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Qué variables eléctricas resultaron ser las más relevantes en el análisis del sistema estudiado? ¿Por qué?
2. ¿Se detectaron alguna anomalía o problema en el sistema eléctrico durante la práctica? En caso afirmativo, ¿cuál fue su causa probable?
3. ¿Cómo cree que los avances en la tecnología de medición están impactando en el análisis y diagnóstico de los sistemas eléctricos?

## REFERENCIAS

### Guías de apoyo:



Ejemplo de uso