INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO COTOPAXI

Libro de texto

Control industrial

Silvia Ayala Trujillo

Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Control industrial

Carrera en Electromecánica

Libro de texto

Silvia Ayala Trujillo

Libro de texto de la asignatura Control industrial

Carrera en Electromecánica CEM-306

Silvia Alexandra Ayala Trujillo

Esta publicación ha sido sometida a revisión por pares académicos específicos en el campo de conocimiento.

Revisión interna:

Daniel Vélez Salazar

Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Revisión externa:

Mayra Sarzosa Villarroel

Instituto Superior Universitario Sucre

Corrección de estilo: Daniel Vélez Salazar

Diseño y diagramación: Ángel Velásquez Cajas

Diseño de portadas: Raúl Jiménez Tello

Primera Edición

Instituto Superior Universitario Cotopaxi

CLIEE Editorial

Latacunga

Septiembre 2024

ISBN: 978-9942-685-03-2

Esta publicación está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Nuestra Historia

El Instituto Superior Universitario Cotopaxi es un ícono de la transformación y revalorización de las políticas públicas en favor de la educación técnica y tecnológica a nivel de todo el Ecuador.

Misión

Somos una institución de educación superior, orientada en la formación integral de profesionales de tercer nivel competentes e innovadores con compromiso ético, social y ambiental que fomentan el desarrollo territorial sostenible.

Visión

Ser un instituto superior universitario con altos estándares de calidad, referente de la transformación técnica y tecnológica que contribuya al desarrollo sustentable y sostenible de la sociedad.

Gestión de Actividades de aprendizaje

Componente Docencia

Son actividades enfocas al alcance de las actitudes que permitan alcanzar los resultados de aprendizaje a lo largo del desarrollo de las unidades que conforman la guía de estudio, el mismo puede ser acompañado por el docente o en forma colaborativa.

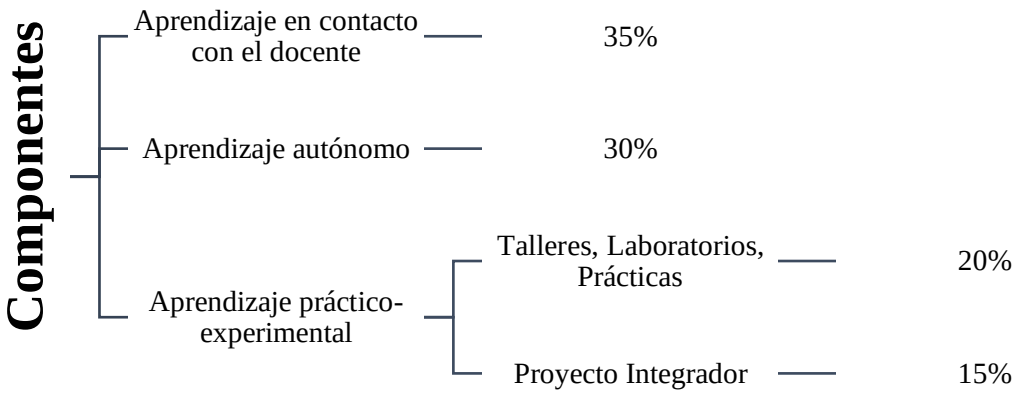
Prácticas Aprendizaje:

Son actividades que permiten que los estudiantes en contribución con su docente la consolidación de los resultados de aprendizaje en forma práctica, con el desarrollo y aplicación de conocimientos teóricos y métodos experimentales.

Componente Trabajo Autónomo:

Son actividades que permiten fortalecer las áreas específicas o amplias de conocimiento, a través de investigaciones bibliográficas, tareas o talleres. El estudiante organiza la forma y tiempo de las actividades a desarrollar.

Evaluación del Estudiante por Resultados de Aprendizaje:



Instrucciones generales

Estimado estudiante revisar este acápite es de importancia porque le permitirá observar la secuencialidad de los procesos de la asignatura de Control industrial; para que alcance un aprendizaje significativo durante su formación académica.

El libro de texto será uno de los medios de orientación y recurso para el aprendizaje de la asignatura de Control industrial. Cada unidad didáctica inicia con una breve introducción y el resultado de aprendizaje de la asignatura

Para realizar un diagnóstico de conocimientos el docente abrirá una discusión en grupos sobre una pregunta que parta de interrogantes significativas para los alumnos, esto permitirá conocer si el estudiante cuenta con conocimientos previos de la asignatura, sea por su formación escolar o por su experiencia cotidiana.

En las actividades de desarrollo tienen la finalidad para que el estudiante interaccione con una nueva información o con una serie de conocimientos previos en mayor o menor medida acerca del tema. Estas fuentes de información pueden ser la exposición docente, discusión sobre una lectura, video relacionados al tema y apoyo de medios digitales como Moodle, Google Drive, YouTube, etc.

Las unidades de la guía de estudio deben estar desarrolladas en consecuencia con los resultados de aprendizaje, por tal motivo se recomienda seguir el orden en el que se encuentran.

Antes de iniciar el nuevo tema es importante haber comprendido la unidad anterior, caso contrario repase de nuevo o consulte a su profesor de la asignatura, quien le ayudará a clarificar los temas en los que tenga dificultad.

El tiempo para el desarrollo de la asignatura es de 16 semanas, la distribución de horas en las actividades de aprendizaje está comprendida de la siguiente manera: 48 horas de docencia, 16 horas práctico experimental docente, 64 horas práctico experimental autónomo y, 16 horas de trabajo autónomo. Se recomienda al estudiante, programar un horario de estudio de cuatro horas semanales como mínimo, para la asignatura.

La ponderación de las actividades que evaluarán durante el periodo serás calificadas sobre diez puntos (10/10).

Para la evaluación de actividades de tareas e informes de prácticas de aprendizaje se revisará: originalidad, presentación, claridad, orden y fecha de entrega. El desarrollo del

documento o informe seguirá las directrices de las normas APA de la institución. Además, se realizarán evaluaciones de tareas en aula y autónomas como actividades expositivas, debates, análisis de casos, mediante una rúbrica.

Índice

Prólogo 8
Unidad 1: Introducción al control industrial 9
1.1 Introducción y definiciones generales sobre aparatos de maniobra 9
1.1.1 Seccionadores 9
1.1.2 Interruptores automáticos o disyuntores 10
1.2 Elementos de maniobra y protección en control industrial 10
1.2.1 Pulsadores 10
1.2.2 Interruptores 11
1.2.3 Luces piloto 11
1.2.4 Guardamotor 12
1.2.5 Relé térmico 13
1.2.6 IGA 14
1.2.7 Interruptor diferencial disyuntor 15
1.3 Simbología eléctrica 15
1.4 Lógica de control 17
1.4.1 Teoría general de contactores 18
1.4.2 Circuitos con contactores 19
1.4.3 Teoría general de relés 22
1.4.4 Temporizadores 24
Unidad 2. Simulación y ejecución de circuitos de control y fuerza. 32
2.1 Introducción de software libre para simulación. 32
2.2 Elaboración e interpretación de diagramas. 33
2.2.1 Circuito de control 33
2.2.2 Circuito de potencia 34
2.3.1 Circuitos de aplicación práctica. 34
2.4 Motores monofásicos 41
2.4.1 Tipos de motores monofásicos 41
2.4.2 Identificación de bobinados y terminales en motores monofásicos 49
2.4.3 Conexión de motores monofásicos. 50
2.5. Motores trifásicos 51
2.5.1 Tipos de motores trifásicos 51
2.5.2 Identificación de bobinados y terminales en motores trifásicos de 12 terminales. 55
2.5.3 Conexión de motores trifásicos de varios terminales. 59
2.6 Arranque de motores eléctricos. 61
Referencias 69

Prólogo

El trabajo de controlar una variable puede llegar a ser tedioso; en algunos casos se necesita un tiempo muy grande, que puede durar días. En otros casos, la respuesta puede ser muy rápida. Para cada caso, los operarios deben ser altamente calificados, pero siempre se puede correr el riesgo del factor humano. En este sentido, lo ideal es utilizar un dispositivo que sustituya al humano y se lo llama controlador o control.

Un controlador es un dispositivo que tiene como función manipular, de manera automática, variables de entradas de los sistemas para conseguir lograr que las variables de salidas lleguen a un valor deseado.

De esta manera, se reduce el factor de riesgo, pero también hay otros beneficios de utilizar controladores, y es que se puede tener un mejor desempeño del sistema. Este puede ir desde un valor específico hasta el valor deseado de manera más rápida y segura.

En el ámbito industrial, o en cualquier otro, en donde se requiera la producción de bienes para consumo masivo, la importancia de la automatización industrial puede considerarse ilimitada. Esto se debe a que automatizar un proceso industrial, aumenta significativamente la calidad, la precisión y el rendimiento en general.

Son varios los sistemas de automatización industrial. Cada uno de ellos destinado a satisfacer necesidades diferentes y demandas muy diversas. Es por este motivo, que en este texto se presentan definiciones y aplicaciones, de manera sencilla, sobre sistemas de control eléctrico.

Unidad 1: Introducción al control industrial

1.1 Introducción y definiciones generales sobre aparatos de maniobra

Los aparatos de maniobra son esenciales en la gestión de circuitos eléctricos, actuando para unir, interrumpir, conmutar o seccionar uno o más de estos circuitos. Su función principal es permitir un servicio continuo y seguro, así como aislar eléctricamente partes del sistema que, por diversas razones, necesiten quedar libres de tensión. Esto es crucial para el mantenimiento y la seguridad del sistema eléctrico, ya que evita riesgos de accidentes y garantiza la operatividad constante. En estaciones y subestaciones transformadoras, estos dispositivos son especialmente importantes.

Entre los aparatos de corte y maniobra se encuentran los interruptores automáticos, que desconectan automáticamente el circuito en caso de una sobrecarga o cortocircuito, protegiendo así los equipos y garantizando la seguridad del personal. También están los seccionadores, que permiten desconectar un circuito cuando no hay corriente eléctrica, facilitando tareas de mantenimiento sin riesgo. Otro dispositivo clave son los conmutadores, que permiten cambiar la conexión de un circuito a otro, asegurando una distribución eficiente de la energía. Estos aparatos de maniobra son fundamentales para la operatividad y seguridad de las instalaciones eléctricas, permitiendo un control preciso y seguro de los circuitos eléctricos en diversos entornos.

1.1.1 Seccionadores

Un seccionador es un componente electromecánico que permite separar de manera mecánica un circuito eléctrico de su alimentación, garantizando visiblemente una distancia satisfactoria de aislamiento eléctrico. El objetivo puede ser, por ejemplo, asegurar la seguridad de las personas que trabajen sobre la parte aislada del circuito eléctrico o bien eliminar una parte averiada para poder continuar el funcionamiento con el resto del circuito (Generando Watts, 2023).

1.1.2 Interruptores automáticos o disyuntores

Un disyuntor es un interruptor automático que corta el paso de corriente eléctrica si se cumplen determinadas condiciones. Sirve para proteger a las personas y a los dispositivos eléctricos. En contraposición a los fusibles, que son de un solo uso, un disyuntor o breaker

eléctrico se puede rearmar siempre que las causas que lo activaron se hayan resuelto. A la hora de adquirir uno de estos componentes eléctricos se debe tener en cuenta algunas características: a) Tensión de trabajo: Voltaje para el que están diseñado. Pueden ser monofásicos o trifásicos, b) Intensidad nominal: Al igual que con la tensión, es el valor de la corriente de trabajo, c) Poder de corte: La intensidad máxima que puede interrumpir, d) Poder de cierre: Intensidad máxima que puede soportar sin sufrir daños, d) Número de polos: La cantidad de conectores que podemos conectar al dispositivo (Efectoled, 2024).

1.2 Elementos de maniobra y protección en control industrial

1.2.1 Pulsadores

Un pulsador es un dispositivo eléctrico que, cuando se oprime, permite el paso de la corriente eléctrica y, cuando se deja de oprimir, lo interrumpe. Se emplea en los timbres, las máquinas expendedoras de refrescos, los teclados de los ordenadores, para seleccionar el piso en los ascensores y en otras muchas aplicaciones (Angulo, 1990).

Figura 1
Pulsadores

Fuente: información tomada de Adajusa, 2023.

Por lo general, los contactos del pulsador están abiertos, es decir, no dejan pasar la corriente. También existen pulsadores que normalmente tienen los contactos cerrados, es decir, la corriente estará circulando hasta que se lo use, al pulsar, el circuito se abre y deja de funcionar. Este tipo de pulsadores se utilizan normalmente para la parada de emergencia de máquinas o mecanismos (Angulo, 1990).

1.2.2 Interruptores

Un interruptor es un dispositivo eléctrico cuya función es abrir o cerrar un circuito de forma permanente. Al accionarlo, su posición varía, abriendo un circuito que estaba cerrado o

cerrando uno que estaba abierto, y permanece así hasta que se vuelva a accionar (Brico Geek, 2018).

Figura 2
Interruptores

Fuente: información tomada de Brico Geek, 2023.

Algunos interruptores se accionan automáticamente. Este es el caso de los interruptores diferenciales, que se colocan como protección y desconectan el circuito rápidamente cuando se produce una fuga o derivación de corriente, por ejemplo, al tocar un cable que está mal aislado. La mayoría de los aparatos eléctricos llevan uno o varios interruptores para permitir el paso de la corriente y regular su funcionamiento (Brico Geek, 2018).

1.2.3 Luces piloto

La luz LED se trata de un indicador luminoso para paneles de control de dispositivos eléctricos y automatismos, compatible con cajas de superficie para controles, pulsadores e interruptores. Se utiliza diversos pulsadores para el control de automatismos, según las necesidades de cada instalación. Ideal para el control industrial de aparatos eléctricos, puertas, persianas, etc. (Malaysia, 2018).

Figura 3
Luces piloto.

Fuente: información tomada de Malaysia, 2023.

1.2.4 Guardamotor

El guardamotor permite maniobra y protección contra sobrecargas y cortocircuitos de motores eléctricos, con disparadores que pueden ser calibrados hasta 19 veces la corriente nominal máxima del disyuntor. Su principal función es la protección contra cortocircuitos y sobrecargas en aplicaciones de motores eléctricos. Además de eso, también permiten realizar maniobras directamente en su manija o botones (WEG, 2024, p.5).

Figura 4
Guardamotor.

Fuente: información tomada de WEG, 2024.

1.2.5 Relé térmico

Los relés tripolares de protección térmica se destinan a la protección de los circuitos y motores alternos contra: las sobrecargas, los cortes de fases, los arranques demasiado largos (Schneider, 2024, p.3).

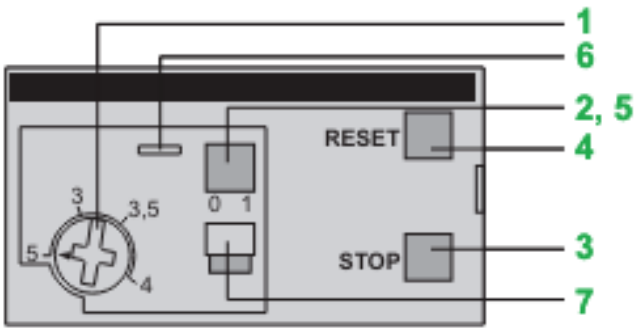
Figura 5
Relé térmico.

Fuente: información tomada de Schneider, 2024.

En la siguiente figura se puede observar la descripción de los componentes de un relé térmico.

- 1. Botón de ajuste Ir.
- 2. Botón Test. El accionamiento del botón Test permite: a) el control del cableado del circuito de mando, b) la simulación del disparo del relé (acción en los 2 contactos NC y NA).
- 3. Botón Stop. Actúa sobre el contacto NC y no tiene efecto en el contacto NA.
- 4. Botón de rearme.
- 5. Visualización del disparo.
- 6. Enclavamiento por precintado de la carcasa.
- 7. Selector entre rearme manual y automático (Schneider, 2024, p.3).

Figura 6
Descripción de un relé térmico.



Fuente: información tomada de Schneider, 2024.

1.2.6 IGA

Interruptor General Automático, cuyas funciones son proteger la vivienda y la instalación eléctrica de posibles sobrecargas o cortocircuitos. El IGA es, por tanto, un elemento fundamental para la seguridad de cualquier inmueble ya que corta inmediatamente el suministro eléctrico si detecta un exceso de potencia que pueda poner en riesgo la instalación. No obstante, hay otros supuestos cotidianos en los que resulta recomendable apagar este interruptor (Selectra, 2024):

- Cuando se va a cambiar una bombilla, reparar un enchufe o, en definitiva, reparar cualquier elemento de la instalación eléctrica. De esta forma, al interrumpir el suministro, se evitan posibles accidentes.
- Si se va a producir una ausencia prolongada en la vivienda. Si sus ocupantes se van varios días de vacaciones pueden bajar el IGA para evitar el consumo de electricidad de cualquiera de sus aparatos (Selectra, 2024).

Figura 7
IGA.

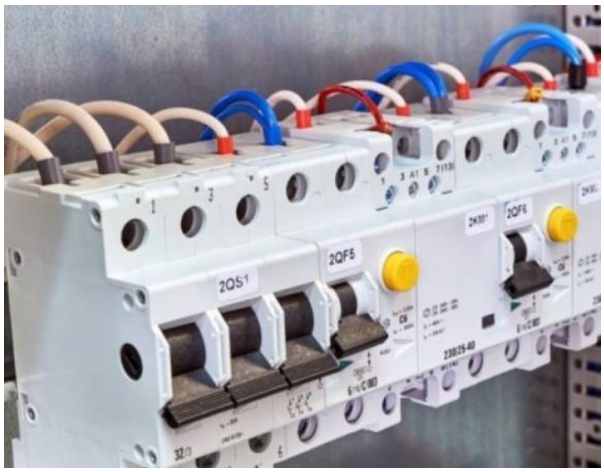
Fuente: información tomada de Selectra, 2024.

1.2.7 Interruptor diferencial disyuntor

También conocidos como disyuntores, se trata de artefactos que, colocados en instalaciones eléctricas, ya sean estas domiciliarias, industriales o comerciales, protegen a los usuarios de descargas eléctricas o choques eléctricos. En cuanto a su funcionamiento, el interruptor diferencial mide la intensidad de la corriente eléctrica al principio y final del circuito, cerciorándose de que los valores en ambos puntos sean iguales, lo cual significa que el circuito se encuentra en buen estado y no sufre pérdidas. Entonces, cuando el dispositivo detecta una falla o fuga en el circuito eléctrico interrumpe inmediatamente la corriente. El

interruptor posee dos bobinas, cada una en cada punto, y las mismas miden los campos magnéticos producidos por dichas corrientes (Transelec, 2024).

Figura 8
Interruptor diferencial disyuntor.

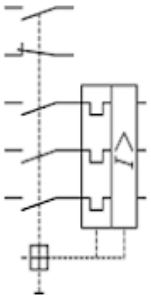
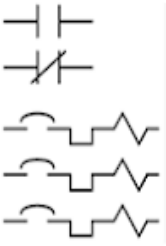
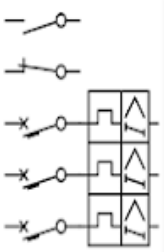
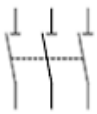
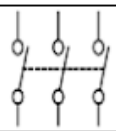
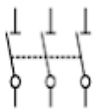
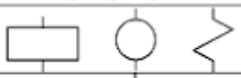
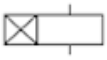
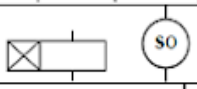
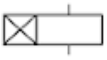
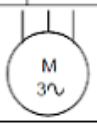
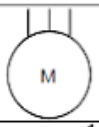
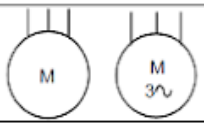
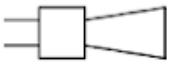
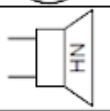
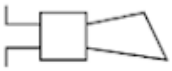
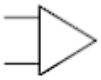
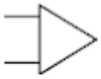
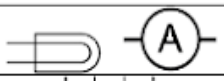
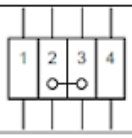
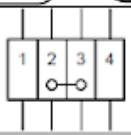
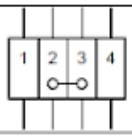
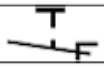
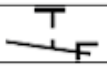
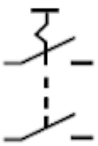
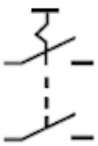


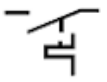
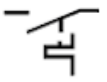
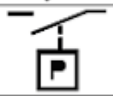
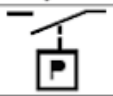
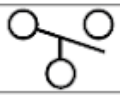
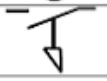
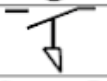
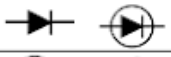
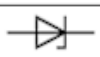
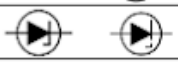
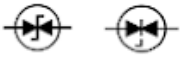
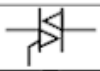
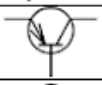
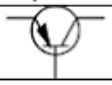
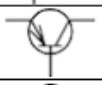
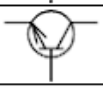
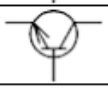
Fuente: información tomada de Transelec, 2024.

1.3 Simbología eléctrica

Figura 9
Simbología eléctrica.

Descripción	DIN	ANSI	IEC
Corriente continua			
Corriente alterna			
Corriente alterna o continua			
Conductor			
Conductor con indicación del número de conductores			
Resistencia			
Condensador			
Tierra			
Masa			
Contacto normalmente abierto (NA)			
Contacto normalmente cerrado (NC)			
Interruptor de potencia		CB	

Interruptor con protección termo magnética (Guardamotor)			
Seccionador trifásico			
Bobinas de accionamiento			
Bobina de accionamiento con retardo para desconectarse			
Bobina de accionamiento con retardo para conectarse			
Bobina de accionamiento con retardo para la conexión y desconexión			
Electroválvula		-	-
Motor de inducción			
Bocina			
Timbre			
Sirena			
Lámpara			
Borneras			
Botón normalmente abierto			
Botón normalmente cerrado			
Selector de dos posiciones			
Parada de emergencia			
Interruptor de proximidad			

Interruptor térmico			
Interruptor final de carrera			
Interruptor de presión			
Interruptor de nivel			
Interruptor de flujo			
Diodo semiconductor			
Diodo zener o limitador de voltaje			
Doble zener o limitador en ambos sentidos			
SCR (Rectificador controlado por voltaje)			
Triac			
Transistor NPN			
Transistor PNP			

Fuente: información tomada de Angulo, 1990.

1.4 Lógica de control

La lógica de control es el conjunto de operaciones lógicas y estructuras de control que determinan el orden de ejecución de las instrucciones de un programa. Esta lógica es esencial para el funcionamiento de cualquier sistema informático, ya que permite decidir qué instrucciones se deben ejecutar y en qué secuencia, basándose en condiciones específicas y en el estado actual del sistema. Se puede definir también como la manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema llamado planta a través de otro sistema llamado sistema de control, para que su comportamiento sea el deseado. La planta representa el proceso o el sistema que se desea controlar, mientras que el sistema de control es el encargado de monitorear y ajustar las variables del sistema para lograr los resultados esperados. Esta manipulación indirecta se logra mediante el uso de bucles, condicionales y otras estructuras de control que permiten una respuesta dinámica y adaptativa a las condiciones cambiantes del entorno (Sailema,2013, p.7).

1.4.1 Teoría general de contactores

El contactor es un interruptor accionado por un electroimán, comandado a distancia, preparado para grandes frecuencias de trabajo, y que vuelve a la posición de reposo cuando la fuerza de accionamiento deja de actuar sobre él. El contactor se divide en tres partes fundamentales (Rodríguez, 2015):

Figura 10
Contactores.

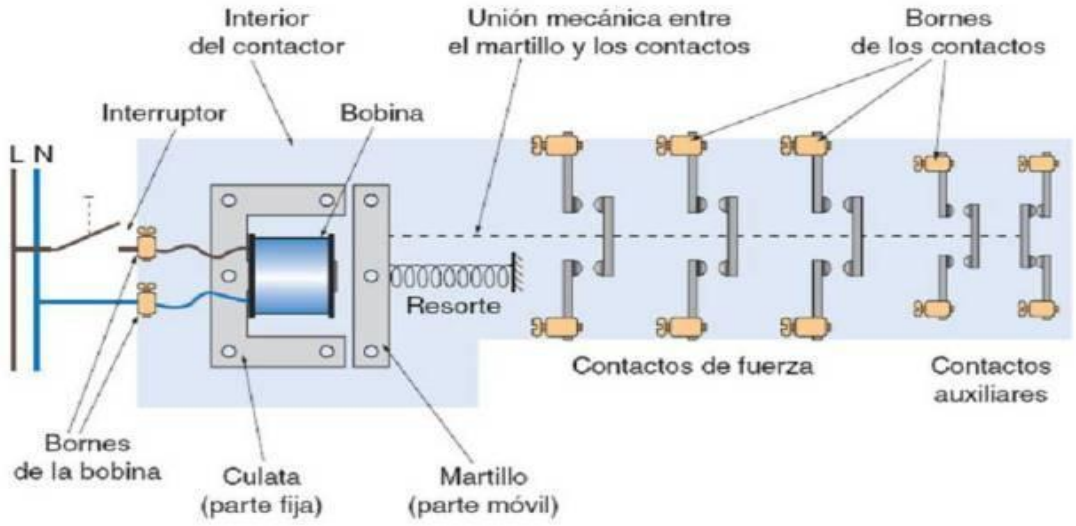
Fuente: información tomada de Rodríguez, 2023.

- Contactos principales. Contactos de potencia a través de los cuales se alimenta el circuito de potencia. Son los instalados en las vías principales para la conducción de la corriente de servicio, destinados a abrir y cerrar el circuito de potencia. Generalmente, tienen dos puntos de interrupción y están abiertos en reposo. Según el número de vías de paso de corriente el contactor será bipolar, tripolar, tetrapolar, etc., realizándose las maniobras simultáneamente en todas las vías gracias a un puente que los une. Suelen sufrir desgaste con el tiempo, y por ello deben reunir las siguientes cualidades: alta conductividad eléctrica y térmica, pequeña resistencia al contacto, débil tendencia a soldarse, buena resistencia a la erosión producida por el arco, dureza elevada, gran resistencia mecánica y poca tendencia a formar óxidos o sulfuros (Rodríguez, 2015).
- Contactos Auxiliares. Se utilizan para el circuito de mando o maniobra, son los acoplados mecánicamente a los contactos principales, encargados de abrir y cerrar los circuitos auxiliares y de mando del contactor, asegurando los enclavamientos y conectando las señalizaciones. Pueden ser del tipo normalmente abiertos (NA) o

normalmente cerrado (NC). Son de dimensiones reducidas pues actúan sobre corrientes relativamente pequeñas (Rodríguez, 2015).

- Electroimán. Elemento mecánico que acciona los contactos de potencia y maniobra. La parte de mando es el electroimán, que es el elemento motor del contactor y está constituido por un núcleo magnético y una bobina. El núcleo magnético está formado por chapas laminadas de hierro al silicio, sujetas por remaches y aisladas entre sí en el caso de contactor de corriente alterna; en cambio, es de acero macizo cuando es de corriente continua. Esto es debido a que en alterna las corrientes de Foucalt calientan el núcleo y aumentan las pérdidas para lo cual es necesario laminar el núcleo para reducir las pérdidas. Los núcleos, para corriente alterna, deben llevar una espiral en cortocircuito que sirve para evitar que la armadura tiemble sobre el núcleo cada vez que la corriente magnetizante y el flujo correspondiente pasen por cero, dos veces cada periodo, y la armadura pueda abrirse (Rodríguez, 2015).

Figura 11
Partes de un contactor.

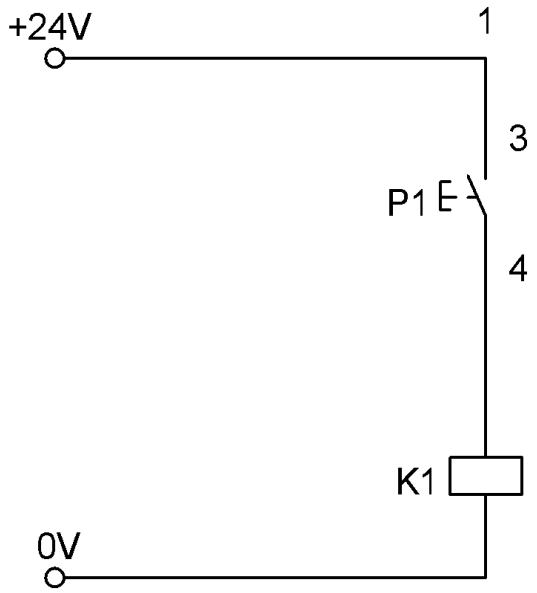


Fuente: información tomada de Rodríguez, 2023.

1.4.2 Circuitos con contactores

Mando básico de un contactor mediante un pulsante de marcha, cuando el pulsante es desactivado la bobina también lo es.

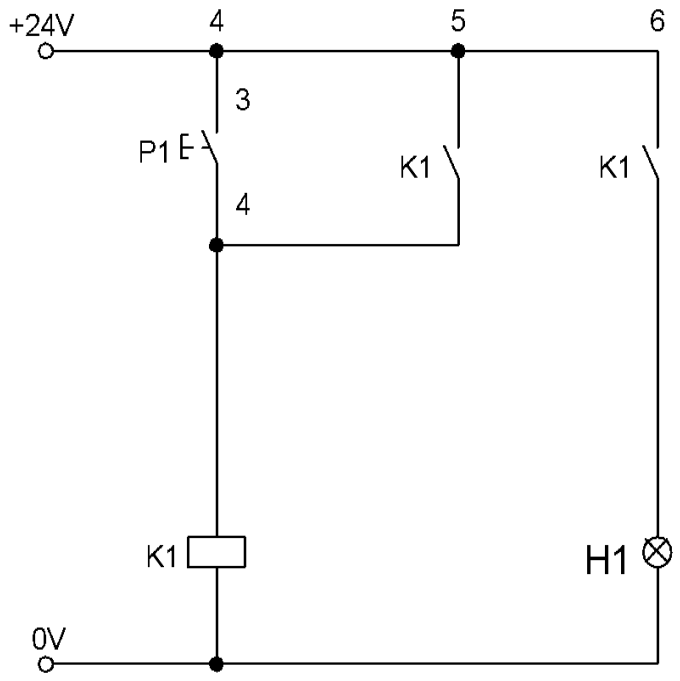
Figura 12
Mando básico de un contactor.



Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 3.

Mando de un contactor mediante un pulsante y autoalimentación, cuando se desactiva el pulsante el contactor se mantiene activado.

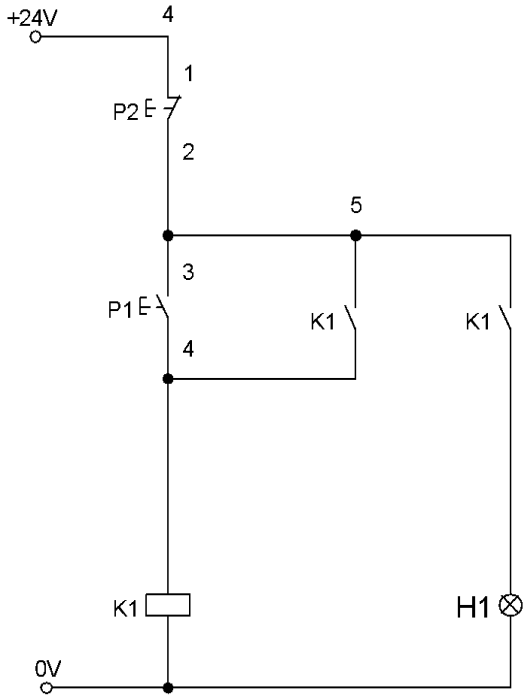
Figura 13
Mando de un contactor mediante autoalimentación.



Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 3.

Mando completo de un contactor usando un pulsante P1 para el activado y P2 para el apagado. Se provee al contactor de autoalimentación o memoria, de aquí se podrán derivar otras formas de comandar un contactor.

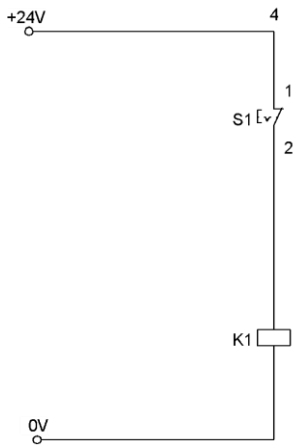
Figura 14
Mando completo de un contactor.



Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 3.

Mando de un contactor por medio de un interruptor.

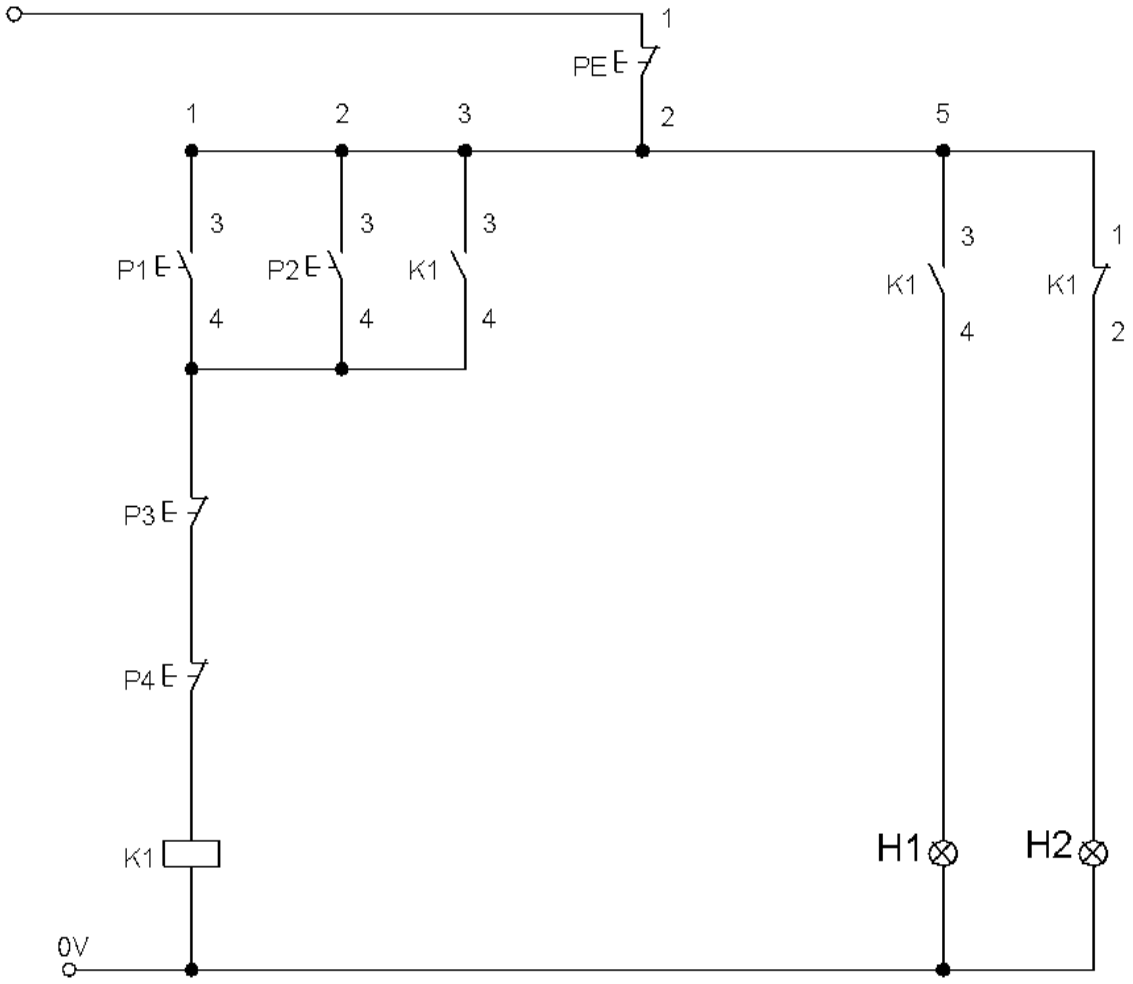
Figura 15
Mando de un contactor por medio de un interruptor.



Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 3.

Mando de un contactor desde dos puestos. El pulsante P1 en paralelo con P2 activa el contactor K1 y queda memorizado. El pulsante P3 en serie con P4 desactiva el contactor K1 en cualquier momento. Al presionar P1 o P2 se encenderá la luz piloto verde. Si el circuito está sin funcionamiento o se presiona los pulsadores P3 y P4 se enciende la luz piloto roja.

Figura 16
Mando de un contactor desde dos puestos.

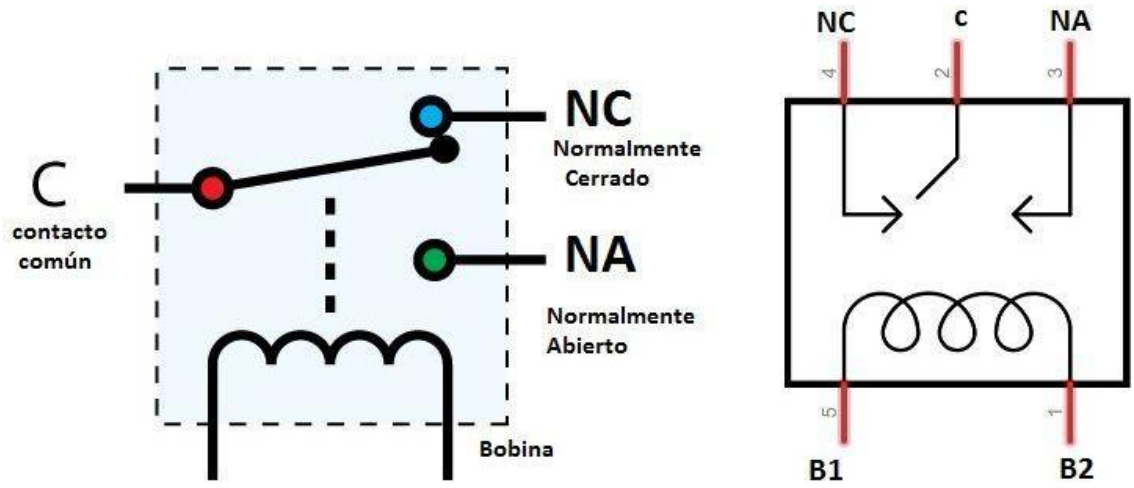


Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 7.

1.4.3 Teoría general de relés

El relé o relevador es un dispositivo electromagnético. “Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes” (Rodríguez, 2015, p. 12).

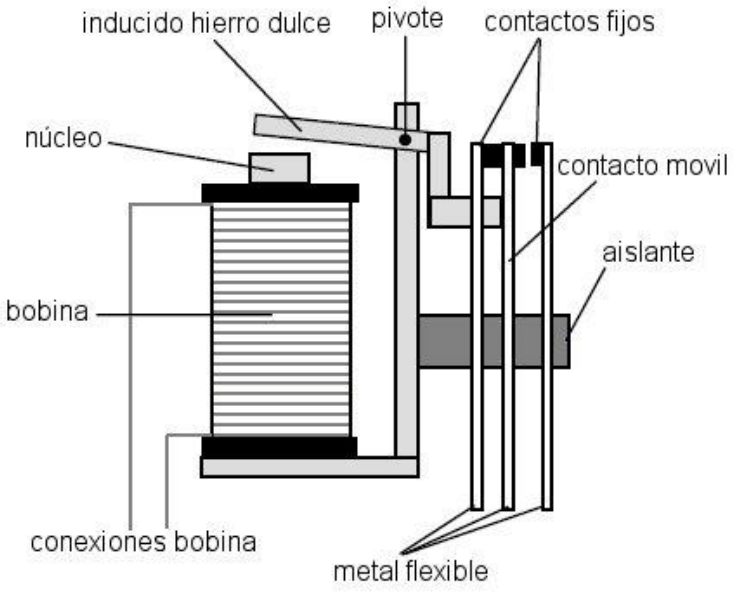
Figura 17
Relé.



Fuente: información tomada de Área Tecnología, 2023.

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Como tal, se empleó en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea. (Área tecnología, 2018)

Figura 18
Partes de un relé.



Fuente: información tomada de Área Tecnología, 2023.

El electroimán hace girar la armadura verticalmente al ser alimentada, cerrando los contactos dependiendo de si es N.A o N.C (normalmente abierto o normalmente cerrado). Si se le aplica un voltaje a la bobina, se genera un campo magnético, que provoca que los contactos hagan una conexión. Estos contactos pueden ser considerados como el interruptor, que permite que la corriente fluya entre los dos puntos que cerraron el circuito (Área tecnología, 2018).

1.4.4 Temporizadores

Un temporizador es un dispositivo con el que se puede regular la conexión o desconexión de un circuito eléctrico durante un tiempo programado. Es un componente que está diseñado para temporizar eventos en un sistema de automatización industrial, cerrando o abriendo contactos antes, durante o después del período de tiempo ajustado (Angulo, 1990, p.5).

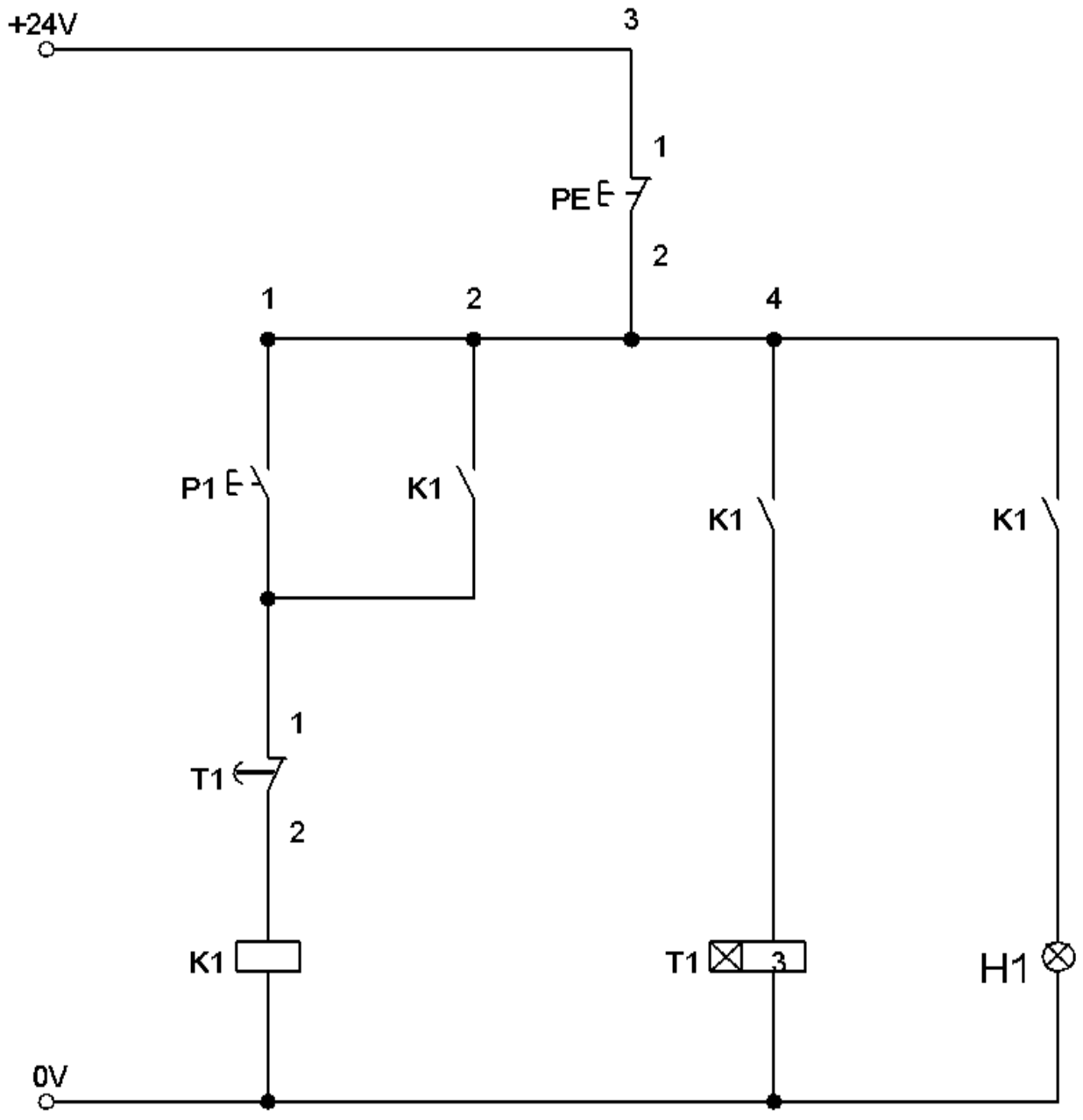
- **Temporizadores on delay.** En español significa retardo a la conexión. Estos son temporizadores que inician su conteo o retardo de tiempo para hacer cambiar sus contactos en el mismo instante en que su bobina es energizada, es decir, el temporizador recibe una señal de activación, al finalizar el conteo del tiempo el temporizador activa o desactiva los contactos según sea el caso (Angulo, 1990, p.7).

Figura 19
Temporizador on delay.

Fuente: información tomada de BlogsTemporizador, 2023.

- **Circuitos con temporizadores on delay.** Apagado con relé on delay: circuito para encender una lámpara por 5 segundos una vez presionado P1.

Figura 20
Apagado de una lámpara con relé on delay.



Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 9.

- **Temporizadores off delay.** En español significa retardo a la desconexión. El temporizador comenzará a contar una vez que se haya retirado la energía de la bobina

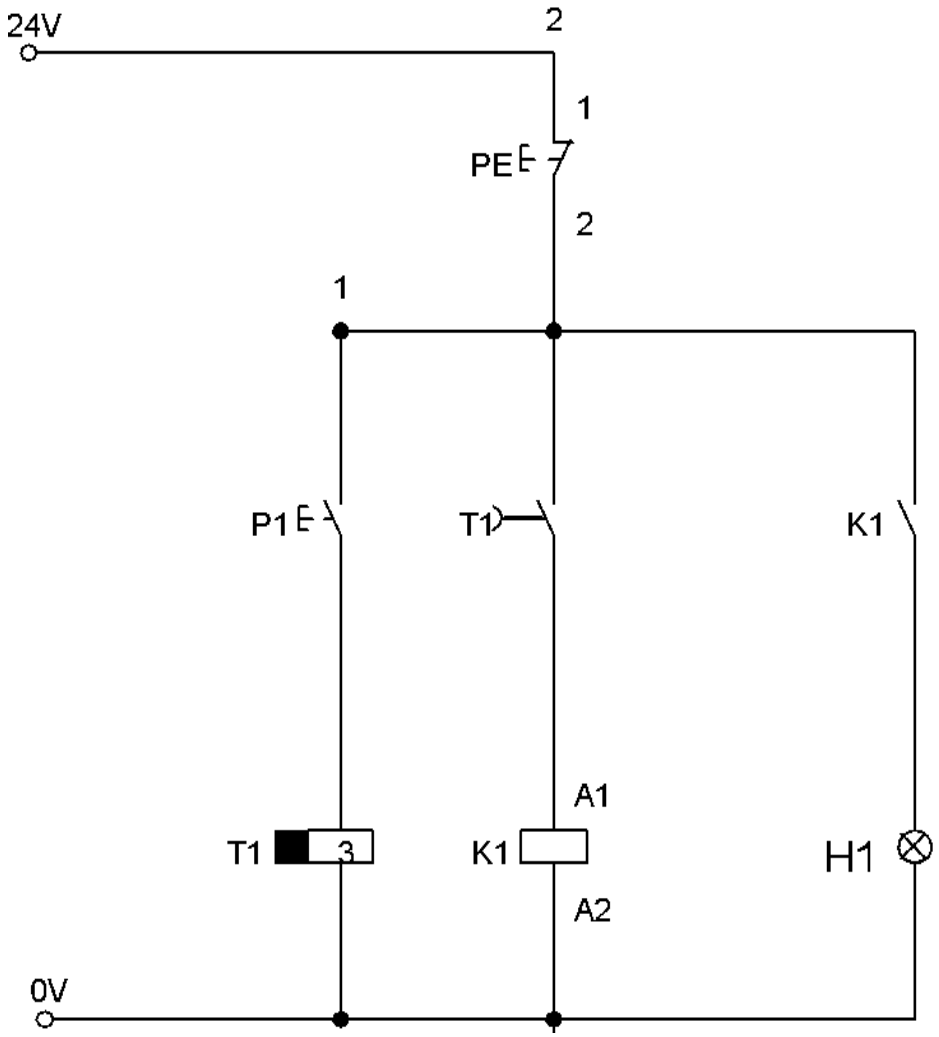
del contactor hasta el tiempo prefijado, cerrando su contacto normalmente abierto y abriendo el normalmente cerrado (Angulo, 1990, p.8).

Figura 21
Temporizador off delay.

Fuente: información tomada de BlogsTemporizador, 2023.

- **Circuitos con temporizadores off delay.** Apagado con relé *off delay*: circuito para encender una lámpara por 5 segundos una vez presionado P1.

Figura 22
Apagado de una lámpara con temporizador off delay.

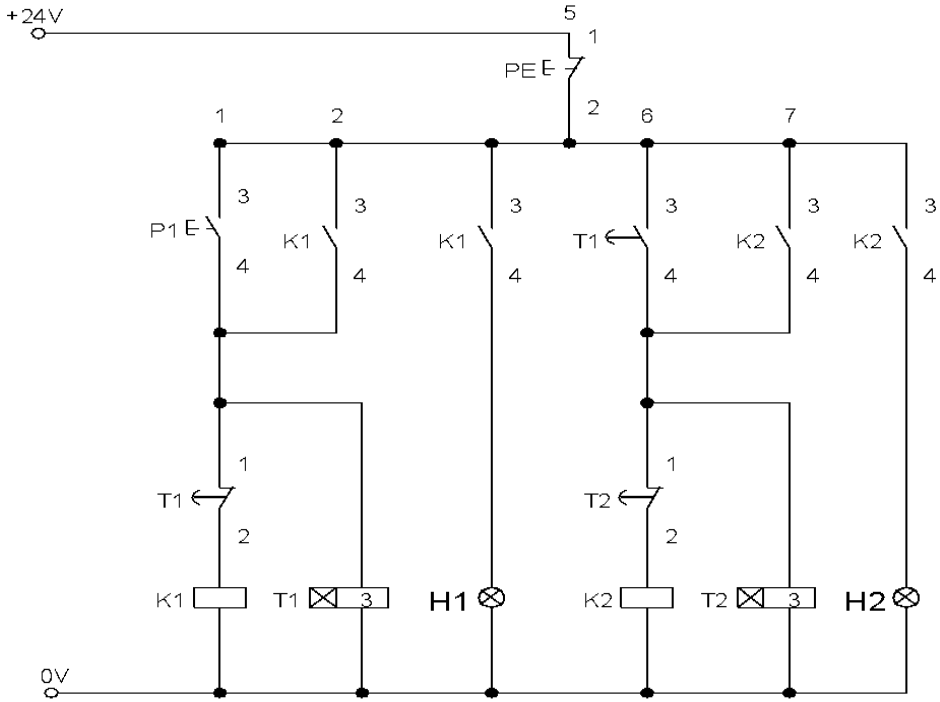


Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 9.

1.4.5 Circuitos con contactores y temporizadores

Encendido temporizado de dos lámparas utilizando temporizadores on delay: se enciende H1 por 3 segundos, al pasar el tiempo se apaga y se enciende H2 por 3 segundos.

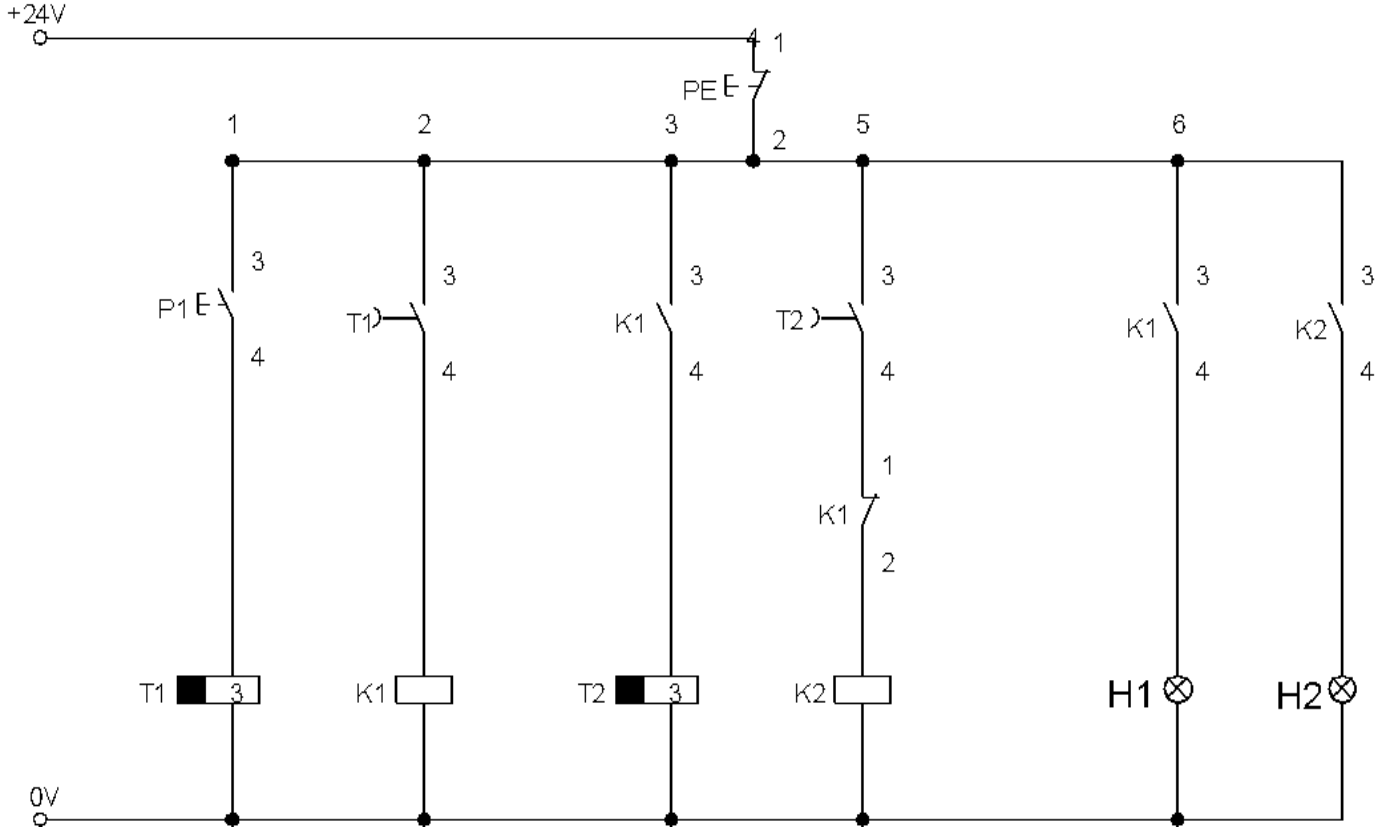
Figura 23
Aplicación con temporizadores on delay.



Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 25.

Encendido temporizado de dos lámparas utilizando temporizadores off delay: se enciende H1 por 3 segundos, al pasar el tiempo se apaga y se enciende H2 por 3 segundos.

Figura 24
Aplicación con temporizadores off delay.

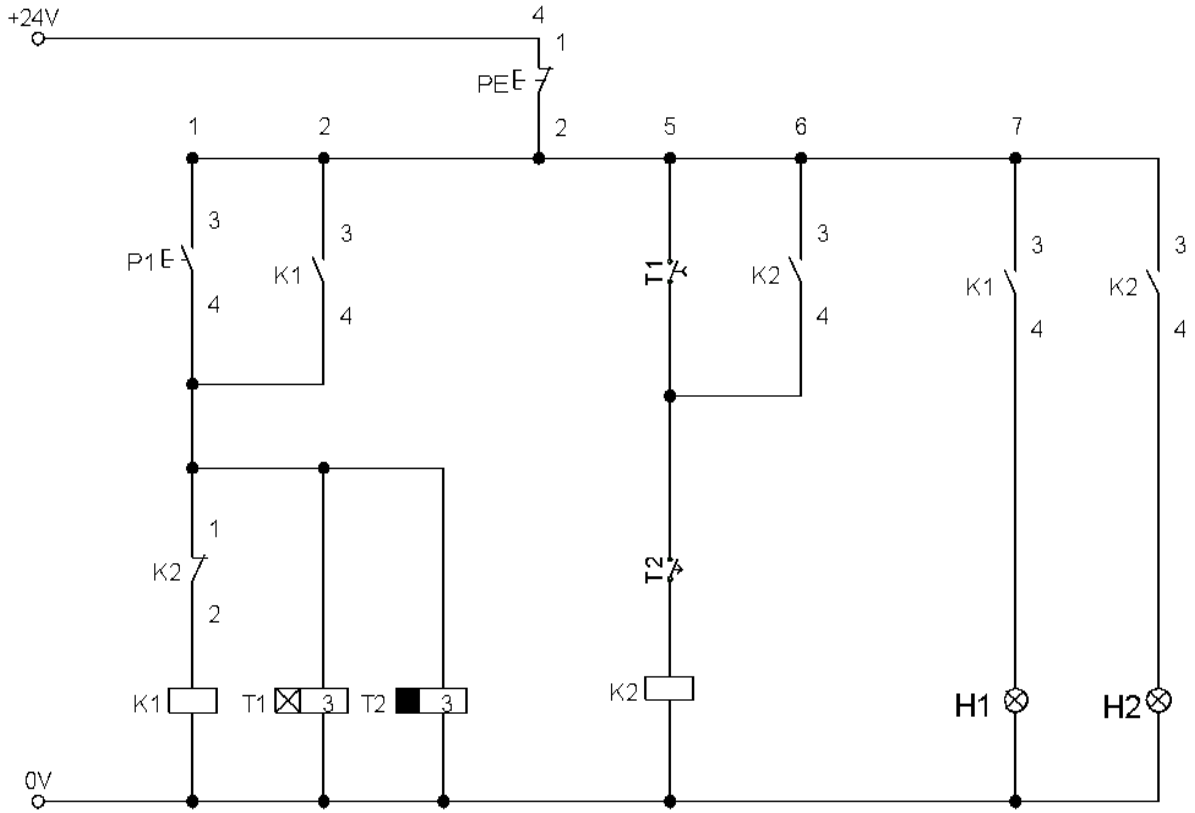


Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 31.

Encendido temporizado de dos lámparas utilizando un temporizador on delay y uno off delay: se enciende H1 por 5 segundos, al pasar el tiempo se apaga y se enciende H2 por 3 segundos.

Figura 25

Aplicación con temporizador on delay y temporizador off delay.

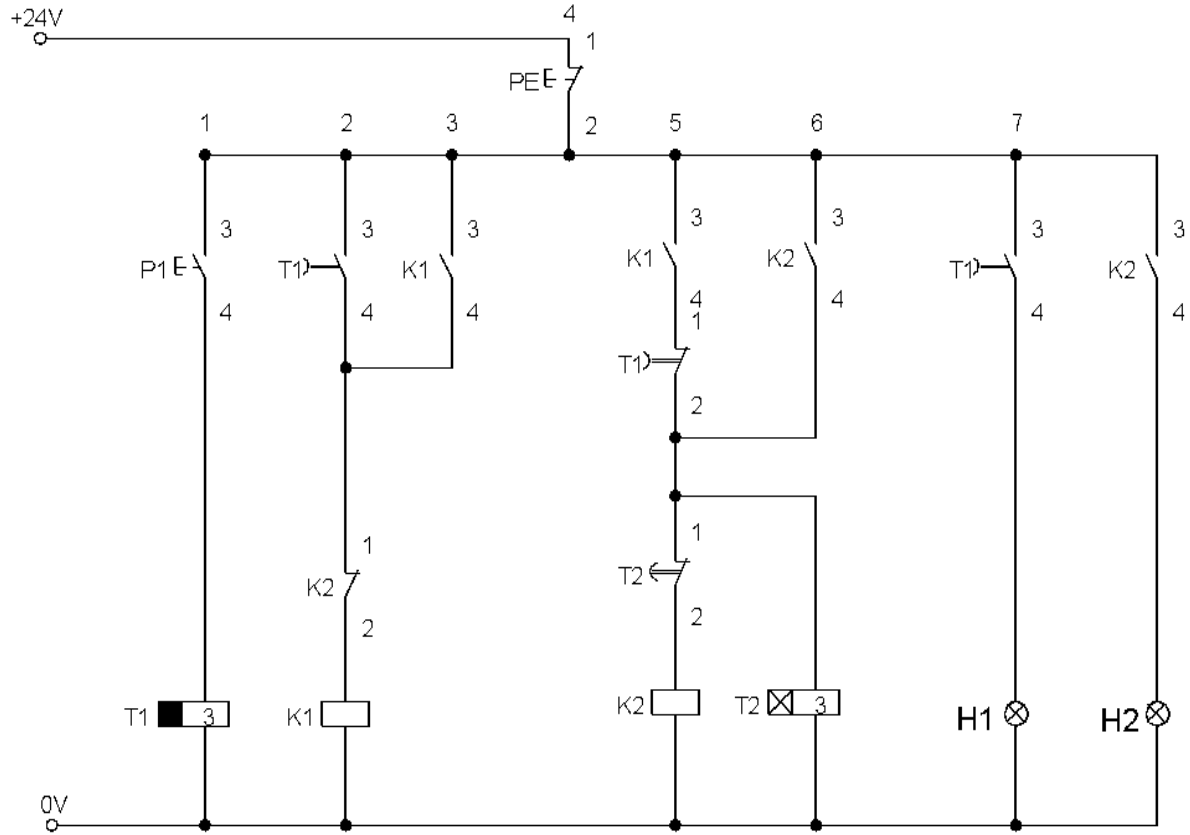


Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 27.

Encendido temporizado de dos lámparas utilizando temporizadores off delay: se enciende H1 por 3 segundos, al pasar el tiempo se apaga y se enciende H2 por 3 segundos.

Figura 26

Aplicación con temporizador off delay y temporizador on delay.

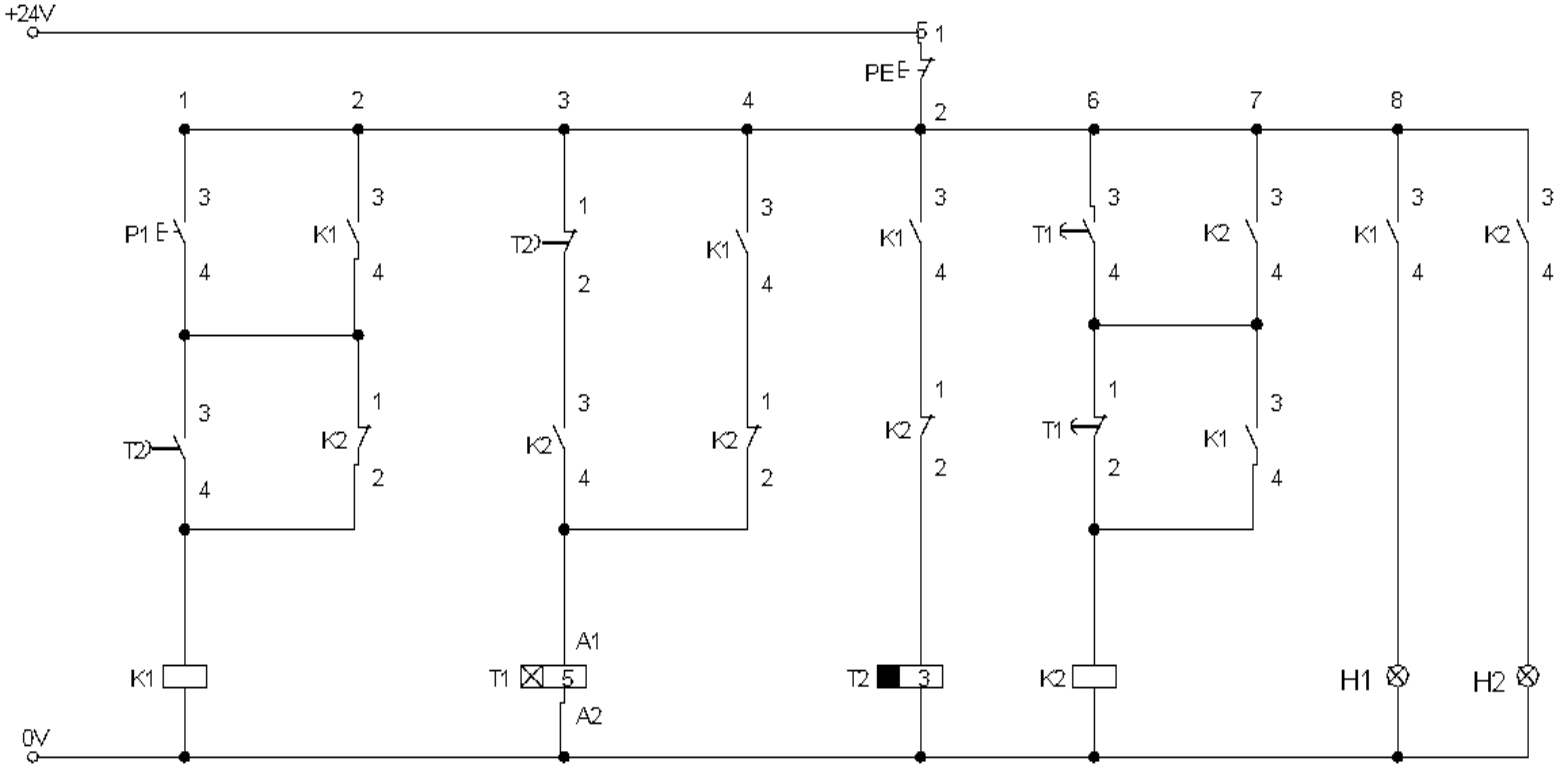


Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 29.

Encendido temporizado de dos lámparas: se enciende H1 por 5 segundos, al pasar este tiempo se enciende H2 por 3 segundos, pero H1 se mantiene encendido (H1 tiempo total encendido 8 segundos). Después de los 8 segundos, inicia un conteo de 5 segundos y se apaga H2, es decir el tiempo total de encendido de H2 es de 8 segundos.

Figura 27

Circuito condicionado con temporizadores.



Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 33.

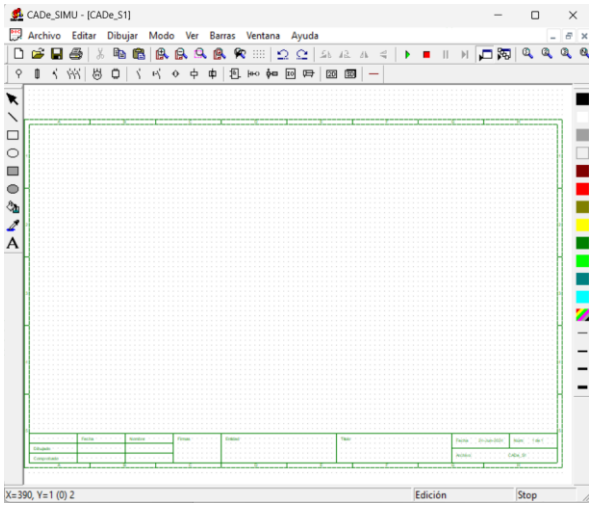
Unidad 2. Simulación y ejecución de circuitos de control y fuerza.

2.1 Introducción de software libre para simulación.

CADeSimu es una herramienta avanzada diseñada para la elaboración y realización de esquemas de mando y potencia en baja tensión. Destaca por su facilidad de uso, lo que la convierte en una de las opciones más accesibles y populares en el ámbito de la simulación de esquemas eléctricos. Este programa es altamente valorado por su capacidad para facilitar el diseño de circuitos complejos a través de una interfaz CAD intuitiva, permitiendo a los usuarios dibujar esquemas de manera rápida y eficiente (CADeSimu, 2024).

La interfaz CAD de CADeSimu está diseñada para optimizar el proceso de dibujo de esquemas eléctricos, reduciendo significativamente el tiempo necesario para crear diagramas precisos y detallados. Esta característica es particularmente útil para profesionales y técnicos que requieren una herramienta que combine funcionalidad y simplicidad. Una vez completado el esquema, el usuario puede utilizar las capacidades de simulación del programa para realizar un análisis exhaustivo del funcionamiento del circuito. Esta simulación permite identificar y corregir posibles errores antes de la implementación física del sistema, garantizando así un alto nivel de precisión y fiabilidad en los proyectos eléctricos (CADeSimu, 2024).

Figura 28
Software CADeSimu.



Fuente: información tomada de CADeSimu, 2024.

2.2 Elaboración e interpretación de diagramas.

Los automatismos eléctricos son circuitos preparados principalmente para efectuar procesos repetitivos, complejos y monótonos. Para instalaciones que sean muy simples en un mismo plano se podrían dibujar todos los elementos que intervienen en dicha instalación, pero, cuando son más complejas, poner sobre un mismo plano todo junto implica planos inmensamente grandes de muy difícil utilización. Además, la cantidad de cableado que se tendría que utilizar sería tan importante que para seguir las diferentes conexiones se emplearía infinidad de tiempo (Durán y Martínez, 2012).

Hay que tener en cuenta que, en la gran mayoría de las ocasiones, incluso las tensiones o sistemas de suministro de energía eléctrica son totalmente diferentes para unas partes y otras del circuito.

2.2.1 Circuito de control

Conocido también como circuito de mando, representa la lógica cableada del automatismo. En él se incluirán los equipos que por un lado reciben la información de los distintos elementos de captación. Los mandos manuales deben proporcionar un control sobre la maquinaria, siempre teniendo en cuenta que lo primordial es mantener la seguridad de los operarios que la controlan. Como los circuitos de mando realmente son un manejo de los circuitos de potencia, pero a distancia, esta circunstancia evitará que los operarios que controlan un proceso tengan que efectuar desplazamientos innecesarios (Durán y Martínez, 2012).

El circuito de mando es como la CPU de un ordenador. Una vez encendida, espera la llegada de información del exterior, a través del teclado o del ratón; una vez analizada la información que dichos elementos le han dado, la procesará de tal forma que ordenará a los elementos correspondientes que ejecuten sus órdenes; por ejemplo, que la impresora imprima un determinado documento (Durán y Martínez, 2012).

Los circuitos de mando se representan en los esquemas de mando, donde se pueden incluir gran cantidad de elementos. Entre los más representativos tendremos: fusibles, protecciones térmicas, pulsadores de marcha y paro, relés, temporizadores, señalizaciones, sensores, entre otros (Durán y Martínez, 2012).

2.2.2 Circuito de potencia

Los circuitos de potencia son aquellos elementos que hacen de alguna manera el trabajo duro, puesto que son los encargados de ejecutar las órdenes dictaminadas por el circuito de mando (Durán y Martínez, 2012).

Este tipo de circuito se caracteriza sobre todo por trabajar a tensiones superiores 230 V, 400 V y más, en corriente alterna principalmente. Los circuitos de potencia se representan en los esquemas de potencia, donde se incluyen una serie de elementos. Entre los más representativos se encuentran: fusibles, interruptores tripolares, contactores, relés térmicos, motores (Durán y Martínez, 2012).

2.3 Ejecución de circuitos secuenciales de control

Circuito cuya salida depende no solo de la combinación de entrada, sino también de las entradas anteriores, es decir, aquellos circuitos en que el contenido de los elementos de memoria sólo puede cambiar en presencia de un pulso de reloj . Entre pulso y pulso, la información de entrada puede cambiar y realizar operaciones lógicas en el circuito combinacional, pero no hay cambio en la información contenida en las células de memoria (Durán y Martínez, 2012).

Un circuito secuencial se compone de elementos de almacenamiento, en forma de cierre o circuitos flip-flop y un circuito de lógica combinatoria. El circuito lógico combinado realiza una función de conmutación entre múltiples salidas, recibe dos tipos de entrada, externas e internas. Los insumos externos vienen de fuera del circuito secuencial y no son controlados por él; los insumos internos provienen de elementos de almacenamiento (Durán y Martínez, 2012).

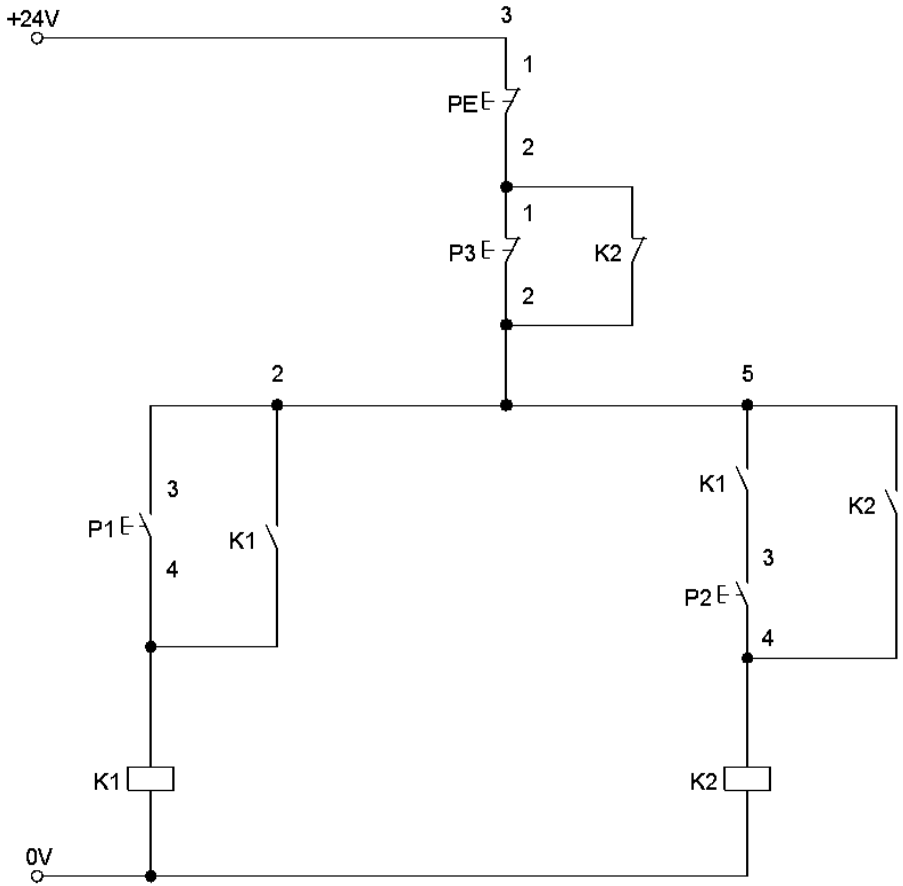
2.3.1 Circuitos de aplicación práctica.

El estudio de circuitos de aplicación práctica es esencial para formar profesionales capacitados en la automatización de procesos. El diseño y análisis de estos circuitos proporcionan a los estudiantes una comprensión profunda de cómo funcionan los sistemas de control y cómo pueden optimizarse para mejorar la productividad y la seguridad en entornos industriales. La práctica con estos circuitos en laboratorios académicos permite a los futuros tecnólogos adquirir habilidades esenciales para la resolución de problemas y la implementación de soluciones efectivas en la industria.

Mando condicionado para dos contactores: P1 activa a K1 y P2 activa a K2, K2 puede funcionar únicamente si K1 está activado, P3 corta el suministro de energía únicamente cuando K2 está funcionando.

Figura 29

Mando condicionado para dos contactores.

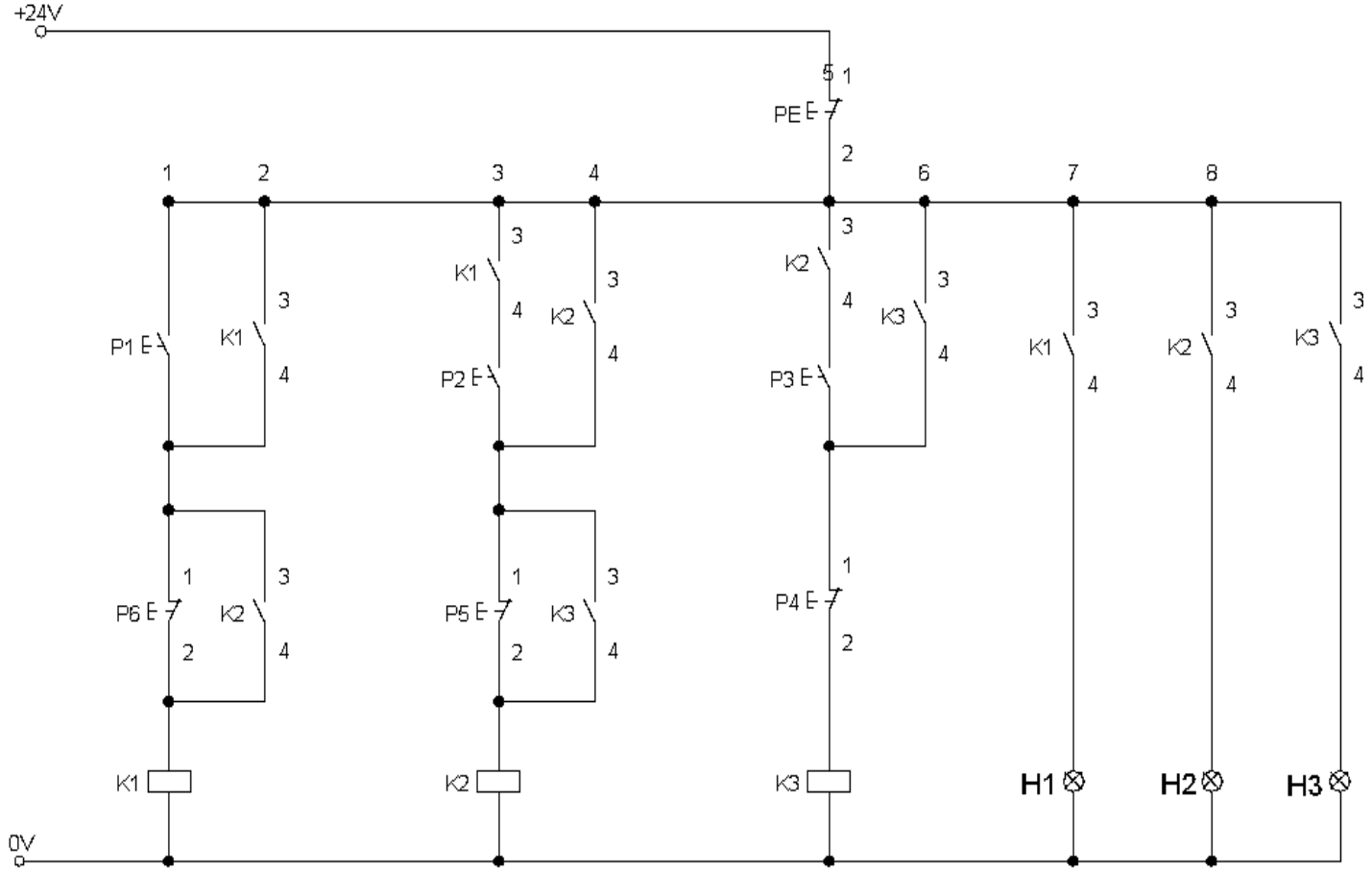


Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 11.

Secuencia de encendido K1-K2-K3 secuencia de apagado K3-K2-K1.

Figura 30

Secuencia de encendido y apagado.

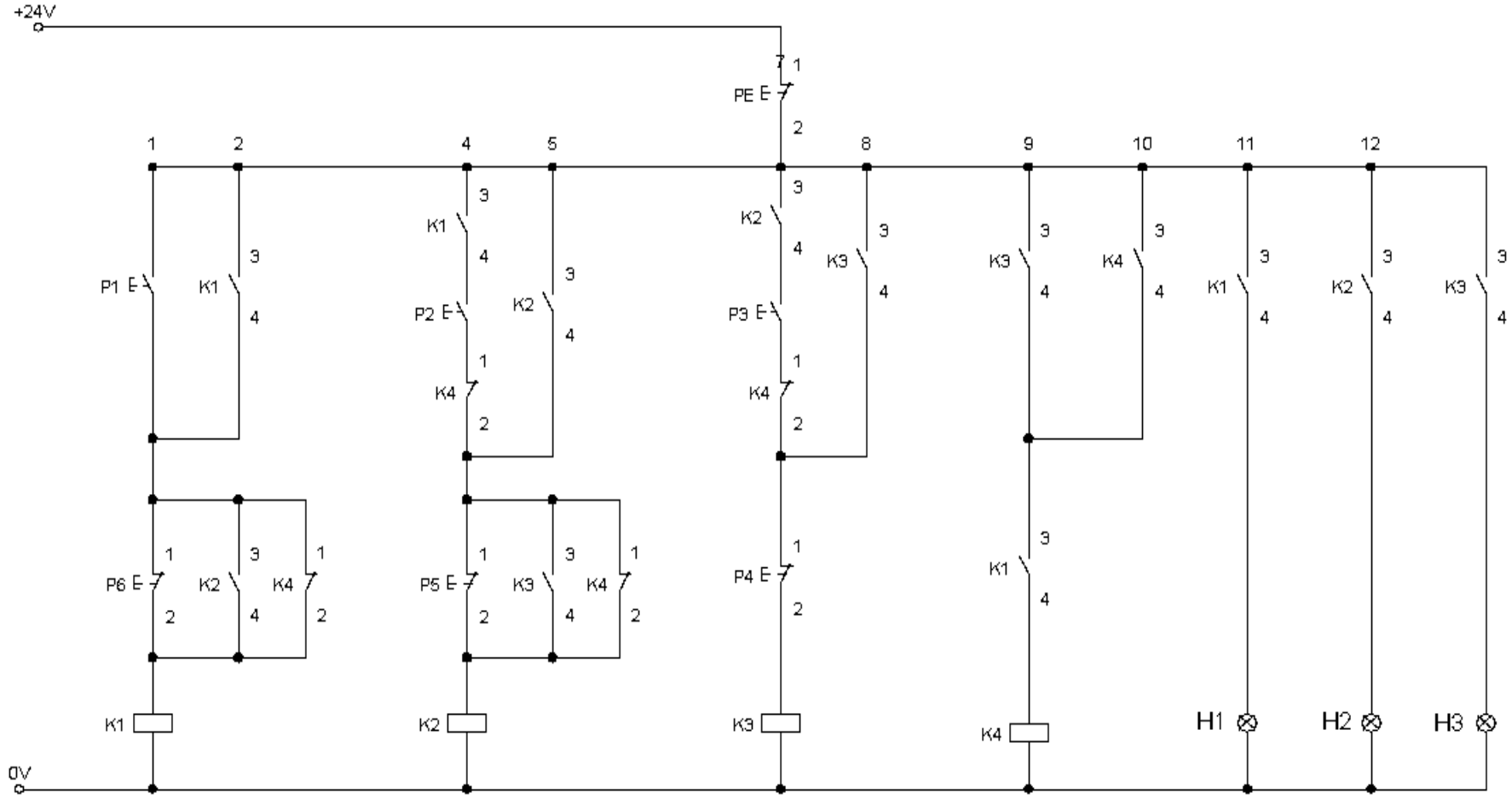


Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 13.

Secuencia condicionada para encendido de K1-K2-K3 y secuencia de apagado K3-K2-K1, únicamente en el orden establecido.

Figura 31

Secuencia de encendido y apagado condicionado.

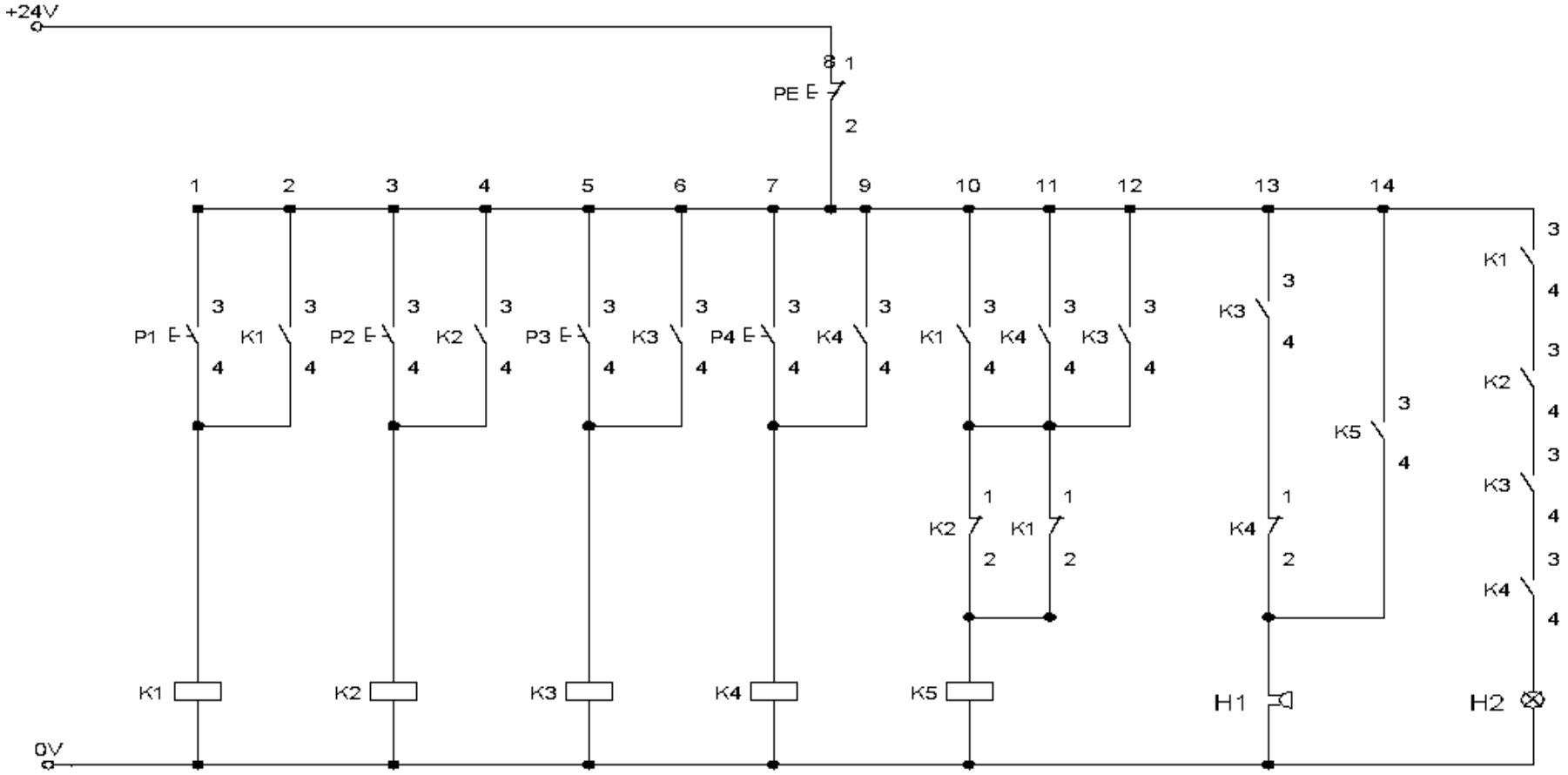


Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 15.

Secuencia de encendido P2-P1-P4-P3, al presionar cualquier otro orden se encenderá una sirena.

Figura 32

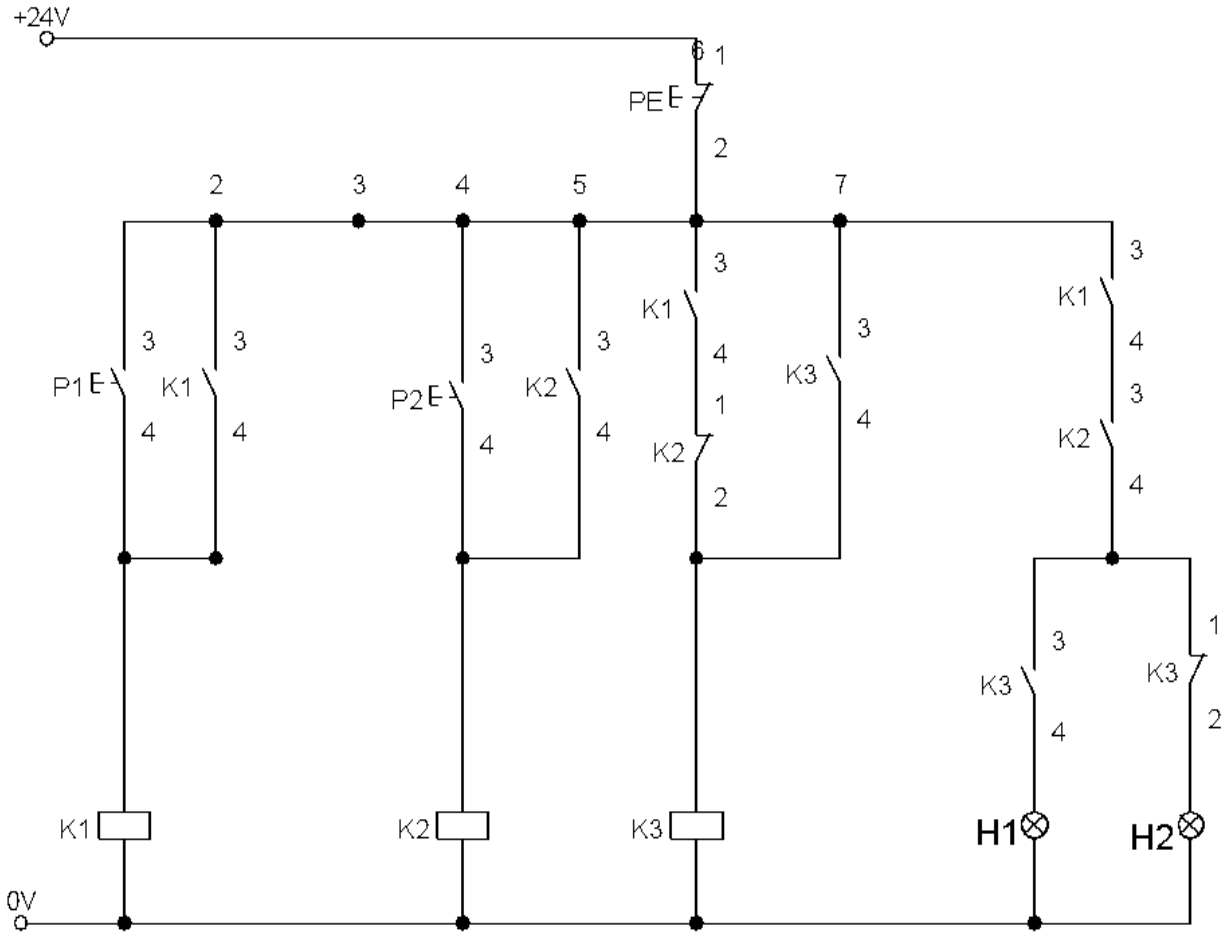
Secuencia de encendido y activación de alarma.



Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 19.

Al presionar P1 – P2 se enciende H1, pero al presionar la secuencia P2 – P1 se enciende H2.

Figura 33
Encendido de lámparas condicionado.

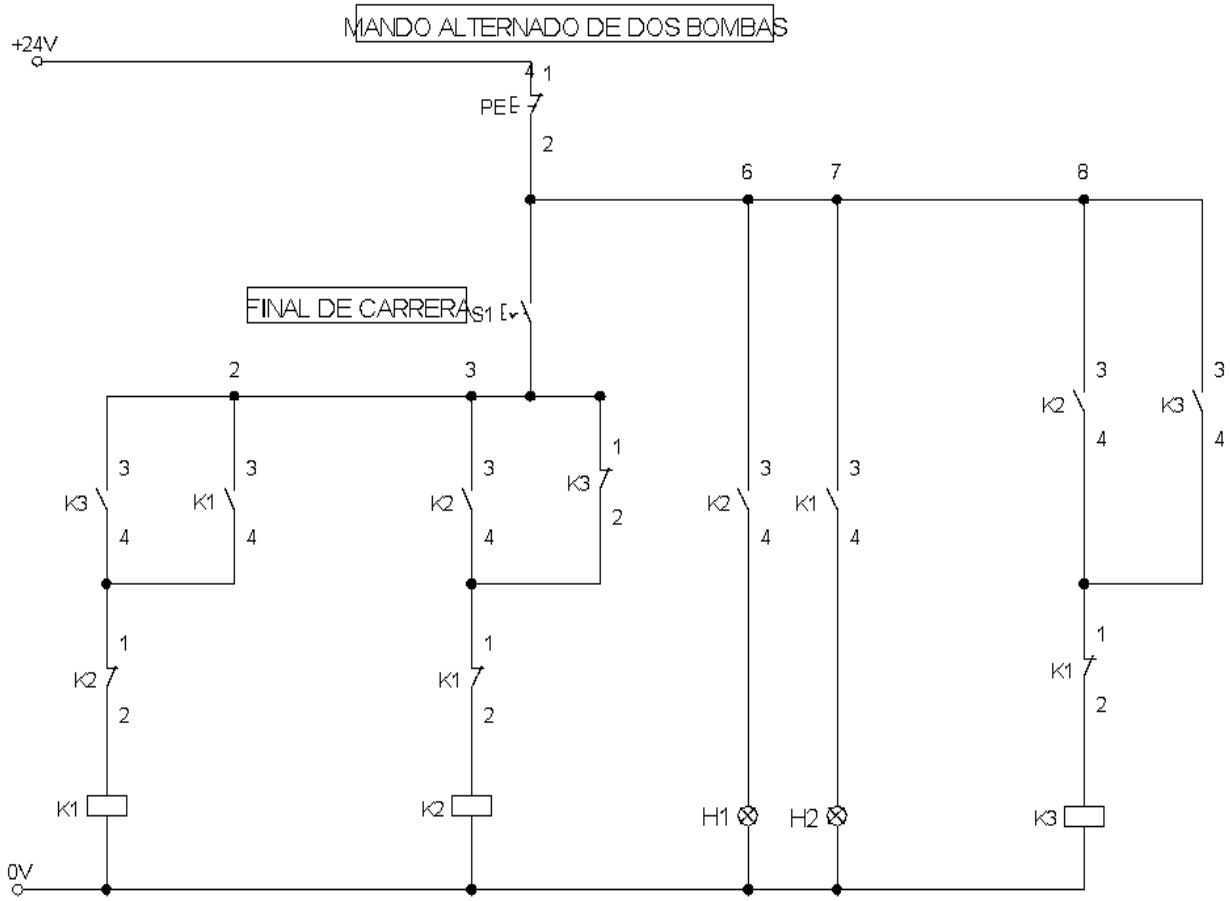


Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 21.

Mando alternado de dos bombas: Al activarse el final de carrera S1 la primera vez funciona la bomba uno (K2), al activarse el final de carrera por segunda ocasión entra en funcionamiento la bomba dos (K1). *Fuente:* Autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p.

Figura 34

Mando alternado de dos bombas.



Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 23.

2.4 Motores monofásicos

Un motor monofásico es una máquina rotativa alimentada eléctricamente, capaz de transformar la energía eléctrica en mecánica. Este tipo de motores son utilizados principalmente en pequeñas instalaciones, electrodomésticos, taladros, máquinas de aire acondicionado, sistemas de apertura y cierre de puertas de parking, entre otros (León y Espinoza, 2010).

Los motores monofásicos son utilizados cuando no se dispone de un sistema trifásico y para pequeñas potencias, generalmente se utilizan para potencias menores de 2Kw o 3Kw. El suministro de corriente alterna trifásica no siempre está disponible en todas las instalaciones eléctricas, por ejemplo, en una vivienda el suministro es monofásico (fase + neutro) a 110V (León y Espinoza, 2010).

En cuanto a la construcción del motor monofásico de inducción, hay que señalar que el rotor de cualquier motor monofásico de inducción es intercambiable con algunos polifásicos de jaula de ardilla. No hay conexión física entre el rotor y el estator y hay un entrehierro uniforme entre ellos. Debido a que los motores monofásicos de inducción no generan por sí solos par de arranque, se tienen dos devanados: el de marcha o principal y el auxiliar o de arranque, cuya finalidad es producir el giro del rotor. Tanto el devanado principal como el auxiliar están distribuidos en ranuras espaciadas uniformemente alrededor del estator; sin embargo, el último se encuentra alojado en ranuras con orientación desplazada 90° en el espacio eléctrico con respecto a las del devanado principal (Máquinas eléctricas, 2023).

Un motor monofásico básico sería un motor asíncrono, en el que el rotor o el estator deben estar conectados a la red mientras el otro funciona por inducción. Los motores monofásicos más habituales son los universales y los que incorporan bobinado auxiliar de arranque. El inconveniente de este tipo de motores es que solo funcionan por sí mismos una vez que han tomado velocidad, pero antes de eso necesitan iniciar el giro del rotor de alguna forma auxiliar. En este sentido, existen diversos métodos de puesta en funcionamiento para distintos motores (Máquinas eléctricas, 2023).

2.4.1 Tipos de motores monofásicos

- **Motores de fase partida y arranque por resistencia**

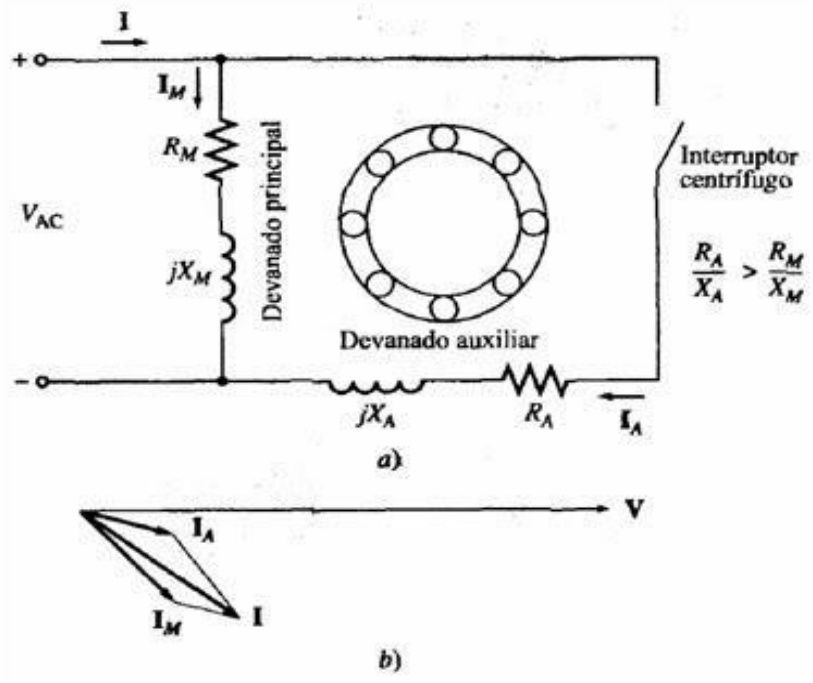
El devanado de arranque tiene menos vueltas y consiste en alambre de cobre de menor diámetro que el devanado de marcha. Por lo tanto, el devanado de arranque tiene alta resistencia y baja reactancia. A la inversa, el devanado de marcha, con más vueltas de alambre más grueso, tiene baja resistencia y alta reactancia; pero, debido a su impedancia total menor, la corriente en el devanado de marcha es en general mayor que la correspondiente en el devanado de arranque (figura 35a, diagrama eléctrico de los dos devanados) (Máquinas eléctricas, 2023).

En la figura 35b, se muestran las relaciones de fase de las corrientes a rotor bloqueado en el instante de arranque. La corriente en el devanado de arranque está retrasada unos 15° con respecto al voltaje de suministro, mientras que la corriente mayor en el devanado de marcha está retrasada unos 40° con respecto al voltaje monofásico (Máquinas eléctricas, 2023).

En la figura 35 se aprecia mejor la función del devanado auxiliar. Debido a que la corriente en el devanado auxiliar adelanta a la corriente del devanado principal, el campo magnético BA alcanza su máximo valor antes que el campo magnético principal BM (Máquinas eléctricas, 2023).

Figura 35

a) Diagrama eléctrico de los devanados. b) Relaciones de fase de las corrientes.

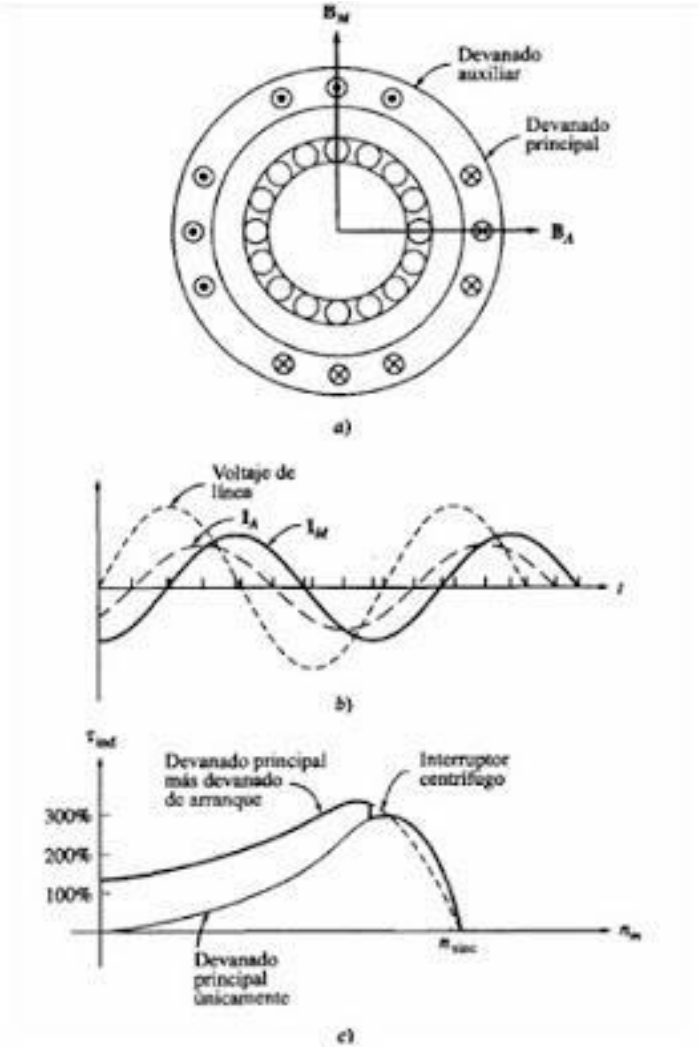


Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

En otras palabras, el devanado auxiliar logra que uno de los campos magnéticos estatóricos rotacionales opuestos sea mayor que el otro y provee un par de arranque neto para el motor. La capacidad del devanado de arranque se basa sólo en trabajo intermitente. Si el interruptor centrífugo se descompone y no puede abrir, por lo general debido a que se pegan los contactos, el calor excesivo que produce el devanado de arranque, de alta resistencia, aumentará de tal manera la temperatura del estator, que finalmente se quemarán ambos devanados (Máquinas eléctricas, 2023).

Los motores de fase partida de mejor diseño tienen relevadores térmicos interconstruidos, conectados en serie con la terminal de la línea, para desconectar el motor del suministro siempre que la temperatura sea muy elevada (Máquinas eléctricas, 2023).

Figura 36
Devanado auxiliar.



Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

Este tipo de motor es normalmente de caballaje fraccionario y como su rotor es pequeño, tiene poca inercia hasta cuando está conectado con la carga. Sin embargo, las principales desventajas del motor son: 1) su bajo par de arranque y 2) cuando tiene mucha carga se produce un par elíptico o pulsante que hace que el rotor emita ruidos preocupantes. Por este motivo, el motor de fase partida se usa en aparatos electrodomésticos para impulsar cargas que producen ruido, como, por ejemplo, quemadores de aceite, pulidores, lavadores de ropa, lavadores de vajillas, ventiladores, sopladores de aire, compresores de aire y bombas de agua pequeñas (Máquinas eléctricas, 2023).

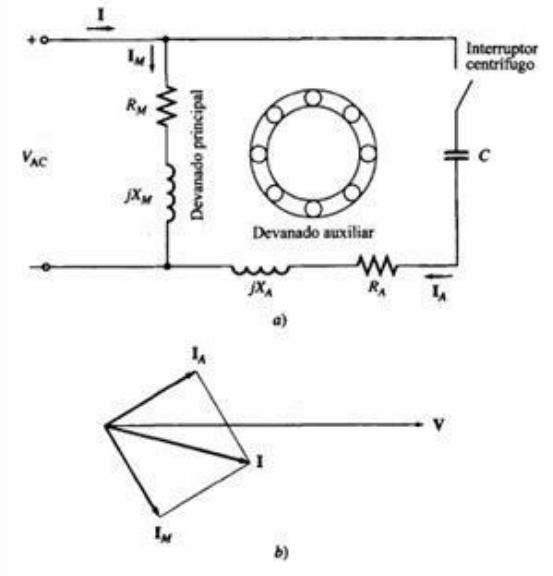
El control de la velocidad de estos motores es relativamente difícil porque la velocidad síncrona del flujo rotatorio del estator queda determinada por la frecuencia y el número de polos desarrollados en el devanado de marcha del estator (S = 120f/P). Se debe hacer notar que todos los cambios de velocidad se deben llevar a cabo en límites mayores al que trabaja el interruptor centrífugo y, por lo tanto, menores que la velocidad sincrónica obteniendo un rango muy limitado para el control de velocidad (Máquinas eléctricas, 2023).

- **Motor de arranque por capacitor**

Para mejorar el par relativamente bajo del motor de fase partida, se agrega un capacitor al devanado auxiliar para producir una relación casi real de 90°, entre las corrientes de los devanados de arranque y de marcha, en lugar de aproximadamente 25° (figura 37b), elevando el par de arranque a los límites normales del par nominal. La figura 37a muestra el diagrama de conexiones del motor de arranque por capacitor, cuya diferencia implica la adición de un capacitor en el devanado auxiliar. Se puede advertir también a partir de la figura 37, el mejoramiento del torque de partida debido a la inclusión del capacitor (Máquinas eléctricas, 2023).

Debido a su mayor par de arranque, que es de 3.5 a 4.5 veces el par nominal, y a su reducida corriente de arranque para la misma potencia en ese instante, el motor de arranque por capacitor se fabrica hoy en tamaños de caballaje integral hasta de 7.5 hp (Máquinas eléctricas, 2023).

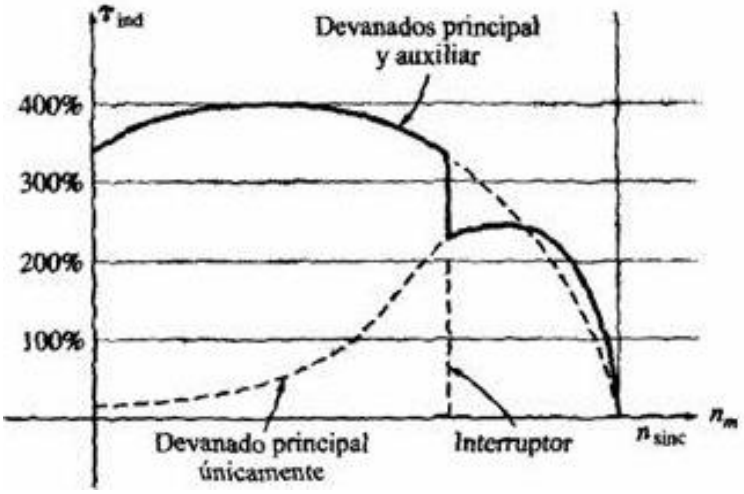
Figura 37
Motor de arranque con capacitor.



Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

Los pares del motor de fase partida van del 1.5 a 2.0 veces el par nominal y nunca son mayores de ¾ hp. En virtud de su mayor par de arranque, los motores de fase partida y arranque por capacitor se emplean para bombas, compresores, unidades de refrigeración, acondicionadores de aire y lavadoras grandes, en los que se necesita un motor monofásico que desarrolla alto par de arranque bajo carga y cuando se requiere un motor reversible (Máquinas eléctricas, 2023).

Figura 38
Gráfica velocidad vs. par motor.



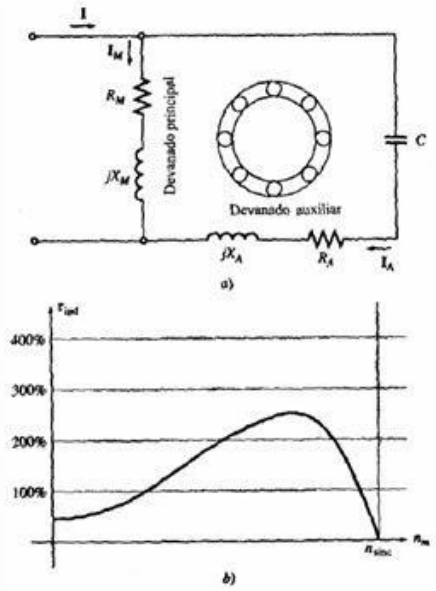
Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

- **Motor con capacitor de marcha**

Este tipo de motor tiene dos devanados permanentes que, en general, se arrollan con alambre del mismo diámetro y el mismo número de vueltas, es decir, los devanados son idénticos (figura 39). Ya que trabaja en forma continua como motor de arranque por capacitor, no se necesita interruptor centrífugo. Los motores de este tipo arrancan y trabajan en virtud de la descomposición de la fase de cuadratura que producen los dos devanados idénticos desplazados en tiempo y espacio. En consecuencia, no tiene el alto par de marcha normal que producen los motores, ya sea de arranque por capacitor o de arranque por resistencia (Máquinas eléctricas, 2023).

El capacitor que se usa, se diseña para servicio continuo y es del tipo de baño de aceite. El valor del capacitor se basa más en su característica de marcha óptima que en la de arranque. Al instante de arranque, la corriente en la rama capacitiva es muy baja. El resultado es que estos motores, a diferencia de los de arranque por capacitor, tienen par de arranque muy deficiente, entre 50 a 100 por ciento del par nominal, dependiendo de la resistencia del rotor. Debido a su funcionamiento uniforme y a la posibilidad de controlar la velocidad, las aplicaciones de este motor pueden ser ventiladores de toma y descarga en máquinas de oficina, unidades de calefacción o aire acondicionado (Máquinas eléctricas, 2023).

Figura 39
Motor con capacitor de marcha.



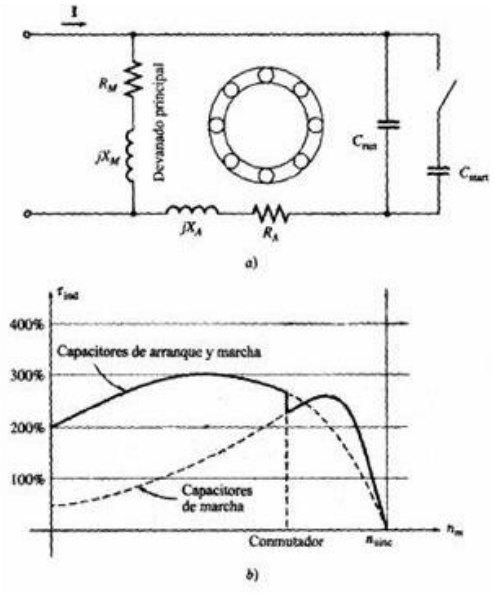
Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

- **Motor con capacitor de arranque y de marcha**

El motor de capacitor de marcha tiene un punto débil recalcable que es su bajo par de arranque. El motor de capacitor de arranque y de marcha, combina las ventajas de funcionamiento casi sin ruido y de control limitado de velocidad del capacitor de marcha, con el alto par de arranque del motor de arranque por capacitor. Se emplean dos capacitores durante el periodo de arranque. Uno de ellos, el capacitor electrolítico de arranque, semejante al que se usa para el trabajo intermitente del motor de arranque por capacitor, tiene una capacitancia bastante alta, de 10 a 15 veces el valor del capacitor de marcha y se saca del circuito mediante un interruptor centrífugo al alcanzar el 75% de la velocidad síncrona. Con ello, produce el par de arranque necesariamente alto (figura 40b). Entonces, el motor continúa acelerando como motor de un capacitor, con el valor óptimo de la capacitancia del dispositivo de aceite para trabajar en la carga nominal o cerca de ésta (Máquinas eléctricas, 2023).

La ventaja principal del motor de capacitor de dos valores es su alto par de arranque, aunado al trabajo poco ruidoso y al buen par de funcionamiento. Entre sus aplicaciones, se puede mencionar las unidades domésticas de acondicionamiento de aire, en las que se emplea en el compresor y que trabajan con una corriente de ramal igual a 15 A (Máquinas eléctricas, 2023).

Figura 40
Motor con capacitor de arranque y de marcha.



Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

- **Motor de polos sombreados**

Todos los motores monofásicos que se describieron anteriormente, emplean estatores con entrehierros uniformes, con respecto a sus devanados de rotor y estator, distribuidos uniformemente en la periferia del estator. Los métodos de arranque se basan, en general, en el principio de la fase partida de producir un campo magnético rotatorio para iniciar el giro del rotor (Máquinas eléctricas, 2023).

El motor de polos sombreados es, en general, un motor pequeño de potencia fraccionaria, no mayor de 1/10 HP, aunque se han producido motores hasta de ¼ HP. La gran ventaja de este motor estriba en su extrema simplicidad: un devanado monofásico de rotor, rotor con jaula de ardilla vaciada y piezas polares especiales. No tiene interruptores centrífugos, capacitores, devanados especiales de arranque, ni conmutadores (Máquinas eléctricas, 2023).

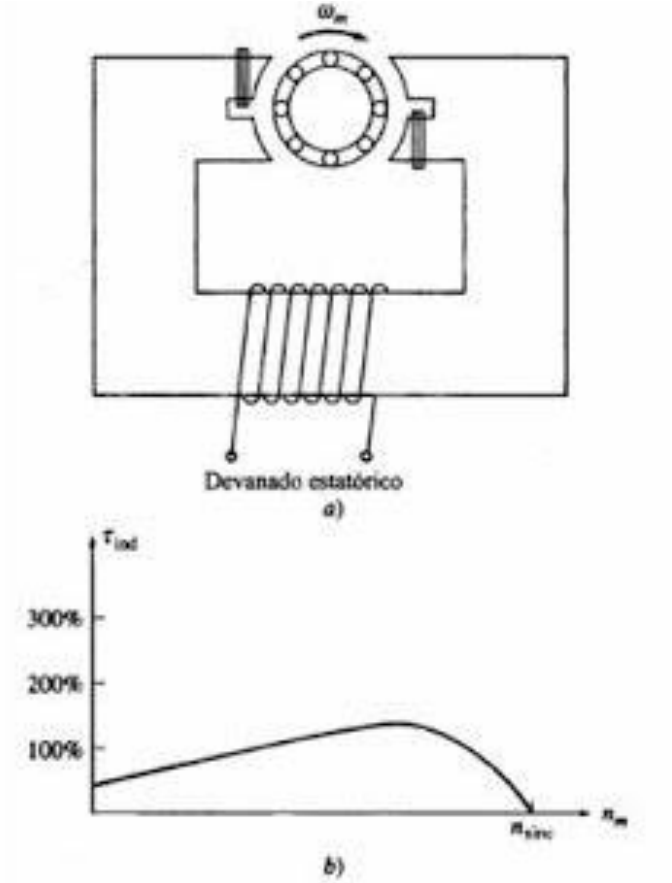
Este motor tiene tan sólo un devanado monofásico, pero es inherentemente de arranque propio. La figura 41a muestra la construcción general de un motor de polos sombreados (dos polos salientes). Las piezas polares especiales se forman con laminaciones y una bobina de sombreado en cortocircuito, o bien un anillo de cobre macizo de una sola vuelta alrededor del segmento más pequeño de la pieza polar. La bobina de sombreado está separada del devanado principal de ca y sirve para proveer una división de fase del flujo principal del campo, demorando el cambio de flujo en el segmento menor (Máquinas eléctricas, 2023).

El flujo en el segmento del polo sombreado siempre está en retraso al correspondiente en el segmento principal, tanto en tiempo como en espacio físico, aunque no existe entre ellos una verdadera relación de 90°. El resultado es que se produce un campo magnético rotatorio, suficiente para originar un pequeño desbalance en los pares del rotor, de modo tal que el par en el sentido de las manecillas del reloj es mayor que el contrario o viceversa y el rotor siempre gira en la dirección del campo rotatorio (Máquinas eléctricas, 2023).

El motor de polos sombreados es robusto, barato, pequeño y necesita de poco mantenimiento. Desafortunadamente, tiene bajo par de arranque, baja eficiencia y bajo factor de potencia. Tratándose de un motor pequeño, las últimas dos consideraciones no son serias. Su bajo par de arranque limita su aplicación a motores económicos de

tornamesas, proyectores de cine, asadores eléctricos, ventiladores y fuelles pequeños, máquinas expendedoras, tornamesas de exhibición en escaparates, sintonizadores de TV de control remoto y otras cargas relativamente ligeras de servomecanismos (Máquinas eléctricas, 2023).

Figura 41
Motor de polos sombreados.



Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

2.4.2 Identificación de bobinados y terminales en motores monofásicos

Cada motor eléctrico monofásico contiene dos bobinas, una es la bobina de arranque y la otra es la bobina de trabajo, las mismas que son la base de la estructura del motor y las responsables para crear un campo magnético para mover el rotor del motor eléctrico cuando se alimenta con corriente (Electrotec, 2024).

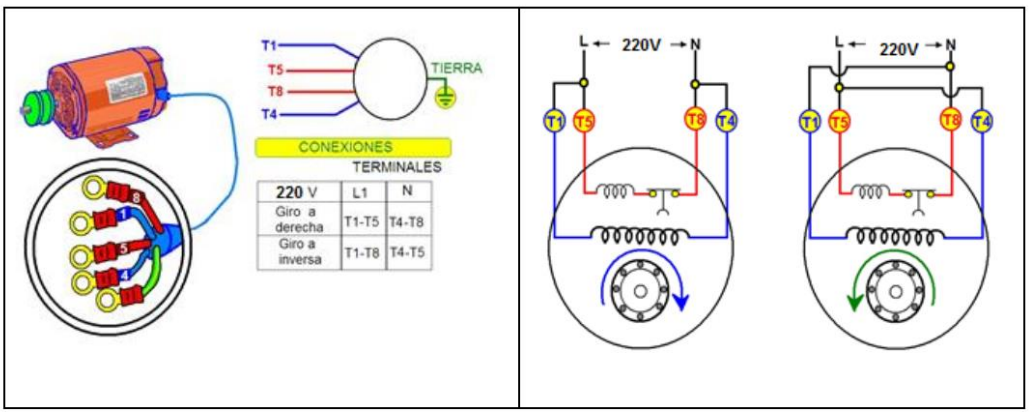
El estator contiene dos bobinas: la bobina del estator (arranque) y la bobina en funcionamiento (trabajo) y, la razón principal por la que el motor contiene la bobina del estator como un devanado auxiliar es que la bobina de arranque no tiene la capacidad de generar torque (Electrotec, 2024).

2.4.3 Conexión de motores monofásicos.

La inversión de giro de un motor monofásico se logra mediante la intercalación de las conexiones de las terminales de los bobinados del motor. Este procedimiento implica conmutar la alimentación de los bobinados para efectuar el cambio de rotación. En términos técnicos, el proceso consiste en alterar la secuencia de las conexiones de los bobinados de arranque y de trabajo del motor, lo cual provoca una inversión en el sentido del campo magnético rotatorio y, consecuentemente, en el sentido de giro del motor. Esta técnica es fundamental para aplicaciones que requieren el cambio de dirección en motores monofásicos, como en algunos sistemas de automatización y maquinaria industrial. La correcta implementación de esta inversión de giro es esencial para asegurar el funcionamiento eficiente y seguro del motor, evitando posibles daños y garantizando un rendimiento óptimo del equipo.

Figura 42

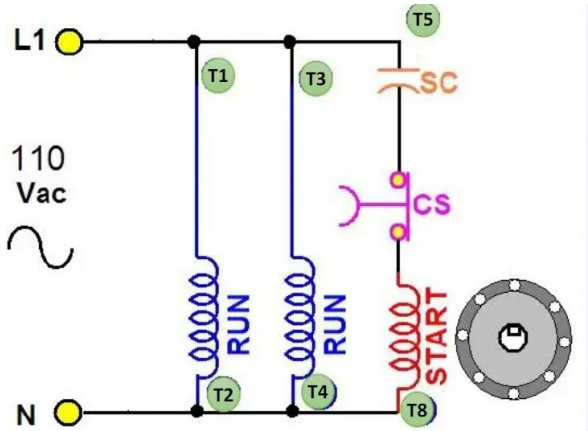
Conexiones para motor monofásico de 4 terminales.



Fuente: información tomada de Universidad Nacional de la Plata, 2024.

Figura 43

Conexiones para motor monofásico de 6 terminales.



Fuente: información tomada de Scribd, 2024.

2.5. Motores trifásicos

Es una máquina eléctrica rotativa, capaz de convertir la energía eléctrica trifásica suministrada en energía mecánica. La energía eléctrica trifásica origina campos magnéticos rotativos en el bobinado del estator, lo que provoca que el arranque de estos motores no necesite circuito auxiliar. Los motores eléctricos trifásicos se fabrican en las más diversas potencias, desde una fracción de caballo hasta varios miles de caballos de fuerza (HP). Se los construye para prácticamente, todas las tensiones y frecuencias (50 y 60 Hz) normalizadas y, muy a menudo, están equipados para trabajar a dos tensiones nominales distintas (Máquinas eléctricas, 2023).

2.5.1 Tipos de motores trifásicos

- **Motor de rotor bobinado**

En los motores de rotor bobinado, el arrollamiento rotórico, por lo general está constituido por unas bobinas de hilo de cobre, cuyos extremos están conexionados a unos anillos (anillos rozantes) por los que se alimentarán las bobinas. Para el arrollamiento del rotor se utilizan conductores de sección circular o rectangular, aislados generalmente con doble capa de algodón o barnices apropiados e introducidos en las ranuras y aislados de ellas y entre sí (Máquinas eléctricas, 2023).

Figura 44
Motor rotor bobinado.

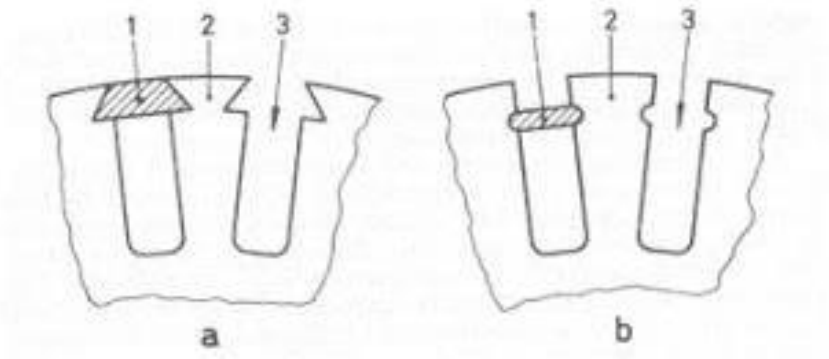
Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

Antes de describir los procedimientos de fijación de los arrollamientos del rotor, será conveniente revisar las formas de ranuras existentes y los métodos para aislar los conductores en las ranuras. En los motores de rotor bobinado se emplean ranuras abiertas y, sobre todo, semicerradas, de forma rectangular con una profundidad de aproximadamente 3 a 4 veces el ancho (Máquinas eléctricas, 2023).

Las ranuras abiertas tienen la ventaja que las bobinas, que se han construido previamente, pueden colocarse en su posición a través de la parte superior de la ranura. De esta manera, el arrollamiento queda montado en poco tiempo; además, las bobinas pueden sacarse fácilmente en caso de reparación o de sustitución (Máquinas eléctricas, 2023).

No obstante, las ranuras abiertas aumentan la reluctancia del circuito magnético, por lo que, en muchas ocasiones, resultan más adecuadas las ranuras semicerradas. Estas permiten que se inserten en ellas bobinas previamente construidas, pero, éstas han de tener un ancho no superior a la mitad del ancho de ranura; consecuentemente, el montaje del arrollamiento será algo más costoso. De todas formas, debido a las mejores condiciones magnéticas obtenidas con las ranuras semicerradas, estas son las más utilizadas en los motores de rotor bobinado para medianas y grandes potencias (Máquinas eléctricas, 2023).

Figura 45
Ranuras semicerradas.

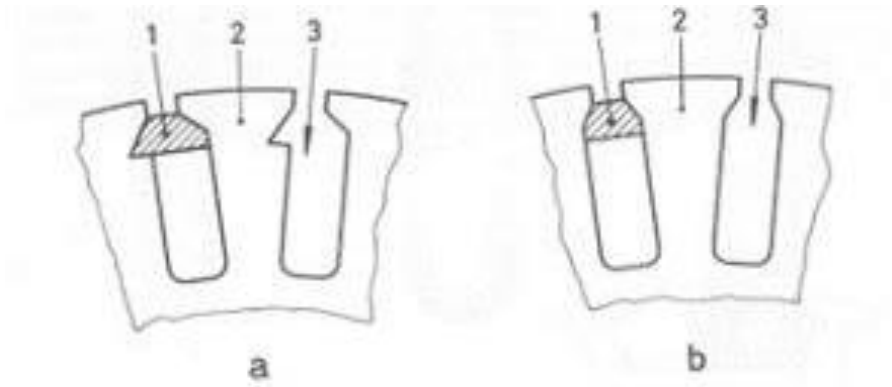


Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

Si se observa la apariencia de las ranuras en forma rectangular, se observa inevitablemente dientes de forma trapezoidal, estrechos en la base y más anchos en la cabeza. Esta forma no es la mejor desde el punto de vista magnético, ya que en la base del diente existirá mayor densidad de flujo magnético y, si se quiere evitar la

saturación magnética indebida en la base del diente, el resto de este no se utilizará a pleno rendimiento. Por otro lado, existe el peligro que si la base del diente es demasiado estrecha puede quedar sometida a un excesivo esfuerzo mecánico cuando gira la máquina. Cuanto menor es el diámetro del rotor, mayor será el estrechamiento del diente, debido a la forma rectangular de las ranuras. Por esta razón, los rotores para motores de pequeña potencia se construyen con dientes paralelos y ranuras trapezoidales (Máquinas eléctricas, 2023).

Figura 46
Ranuras trapezoidales con dientes paralelos.



Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

Esta forma de ranuras, no puede contener adecuadamente los conductores de sección rectangular, pero resulta muy apropiada para alojar conductores de sección circular que son, precisamente, los que se emplean para máquinas de pequeña potencia. Se elige la forma rectangular, porque resulta la más adecuada para contener las barras rectangulares de cobre que se emplean para constituir las bobinas. Además, esta forma puede adaptarse fácilmente para contener los conductores de sección circular (Máquinas eléctricas, 2023).

En cuanto a la forma constructiva del arrollamiento del rotor, se utiliza muchas veces el arrollamiento de barril o de cesta, empleado también en los arrollamientos de inducido de corriente continua. En otras ocasiones, se usa el arrollamiento en varios planos, exclusivo de corriente alterna. Existen diferentes sistemas de fijación de las cabezas de bobina del arrollamiento rotórico mediante zunchos y soportes de fijación como soporte de arrollamiento cilíndrico, soporte de arrollamiento cónico, soporte de arrollamiento abovedado (Máquinas eléctricas, 2023).

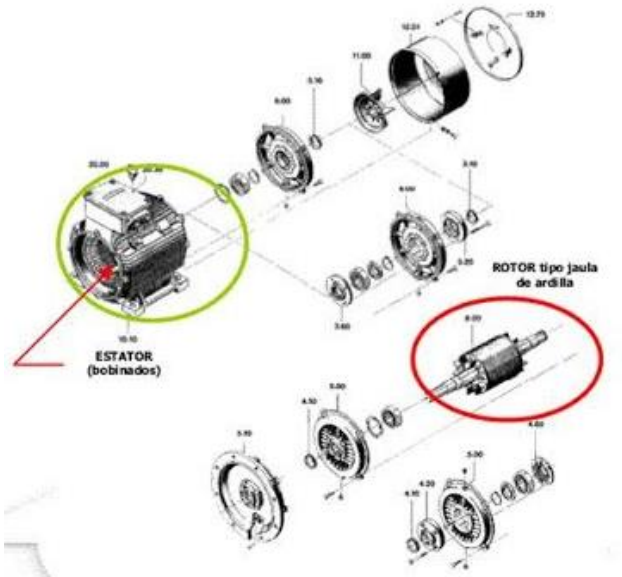
- **Motor jaula de ardilla**

Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama motor de jaula de ardilla. En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente, contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre, con surcos y conectados juntos en ambos extremos, poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y las barras con la rueda de ejercicio de un hámster (existen probablemente ruedas similares para las ardillas domésticas) (Máquinas eléctricas, 2023).

La base del rotor se construye con láminas de hierro apiladas. El dibujo muestra solamente tres capas de apilado, pero se pueden utilizar muchas más. Los devanados inductores en el estator de un motor de inducción incitan al campo magnético a rotar alrededor del rotor (Máquinas eléctricas, 2023).

Alternadamente, estas corrientes fluyen longitudinalmente en los conductores que reaccionan con el campo magnético del motor, produciendo una fuerza que actúa tangente al rotor. El resultado es un esfuerzo de torsión para dar vuelta al eje. En efecto, el rotor lleva alrededor el campo magnético, pero en un índice levemente más lento de la rotación. La diferencia en velocidad se llama deslizamiento y aumenta con la carga (Máquinas eléctricas, 2023).

Figura 47
Motor jaula de ardilla.



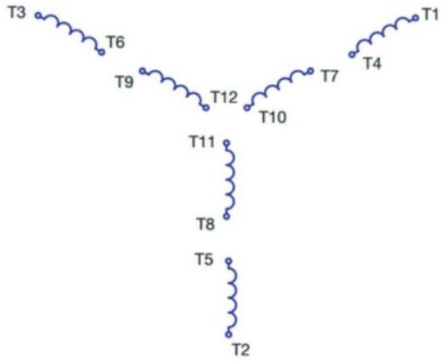
Fuente: información tomada de Máquinas eléctricas, 2023.

2.5.2 Identificación de bobinados y terminales en motores trifásicos de 12 terminales.

Cada dos terminales corresponden a una bobina independiente (o sea 6 bobinas) y, cada fase está compuesta por 2 bobinas. La identificación a la que se debe llegar se presenta en la siguiente figura (Studocu, 2024).

Figura 48

Diagrama de identificación de bobinas de un motor de inducción trifásico de 12 terminales.

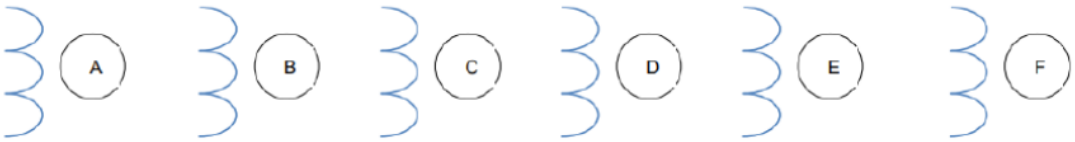


Fuente: información tomada de Studocu, 2024.

Para identificar cada una de las bobinas se utiliza el multímetro digital en la escala de continuidad para detectar entre que terminales existen bobinas. Después de realizar este trabajo, se reduce los 12 terminales a 6 pares de terminales (entre cada par hay una bobina). Para facilitar la identificación, se debe marcar cada par encontrado con una letra del alfabeto como se muestra en la figura (Studocu, 2024).

Figura 49

Marcado de bobinas identificadas midiendo continuidad con letras mayúsculas.

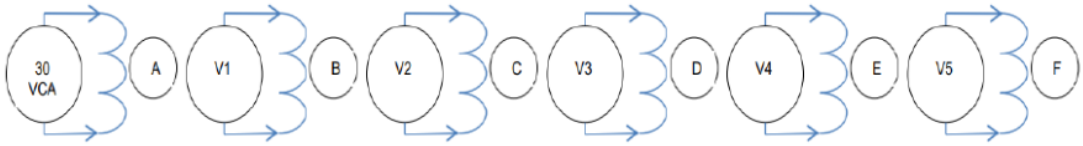


Fuente: información tomada de Studocu, 2024.

El siguiente paso a seguir es identificar los pares de bobinas correspondientes a cada uno de las fases del motor. Para esto se debe utilizar un transformador de voltaje de 220 o 115 VCA en al lado de alta, y entre 24 y 50 VCA en el lado de baja (con el fin de no aplicar voltaje pleno a las bobinas, y trabajar con niveles de voltaje seguros). La idea es aplicar el voltaje secundario del transformador a la bobina marcada inicialmente con

la letra A. Las bobinas correspondientes a cada fase de un motor, tienen un comportamiento análogo al de un transformador, es más, como el núcleo del estator se comporta como un circuito magnético y sobre este también están arrollados los bobinados de las otras fases, al aplicar un voltaje de CA a la bobina A en todas las bobinas se induce un voltaje como si estas se trataran del secundario del transformador. Lo particular es que, al medir los voltajes inducidos en todas las 5 bobinas restantes, existirá una que registrará mayor voltaje y, esta es la que corresponde al par de esta fase. Lo anterior ocurre puesto que esta bobina esta enrollada en el mismo circuito magnético y con el mismo ángulo de fase de la bobina alimentada con el voltaje de inducción (Studocu, 2024).

Figura 50
Aplicación de voltaje al devanado A del motor trifásico.



Fuente: información tomada de Studocu, 2024.

Por ejemplo, al alimentar con 30 VCA la bobina A, se obtienen las siguientes lecturas: V3=10 VCA, V1=V2=V4=V5=3,5 VCA (también V1, V2, V4, y V5 pueden ser diferentes, pero siempre menores al voltaje inducido en la bobina de la fase correspondiente). Se concluye que las bobinas A y D forman el par de una fase (Studocu, 2024).

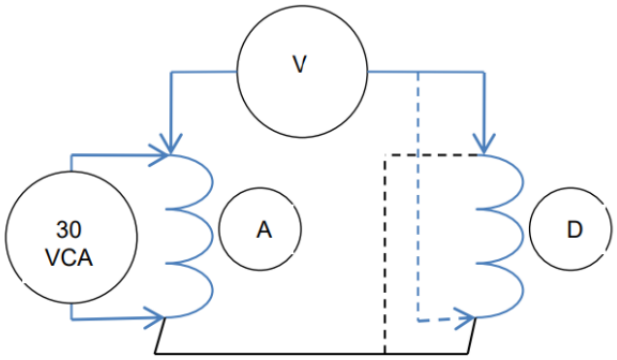
Figura 51
Aplicación de voltaje al devanado B del motor trifásico.

Fuente: información tomada de Studocu, 2024.

Al alimentar con 30 VCA a la bobina B, se obtienen las siguientes lecturas: V1=10 VCA, V2=V3=3,5 VCA (también V2 y V3 pueden ser diferentes, pero siempre menores al voltaje inducido en la bobina de la fase correspondiente). Se concluye que las bobinas B y C forman el par de otra fase. Por descarte, las bobinas E y F formarán la última fase.

El siguiente paso es determinar la polaridad relativa de los dos pares de cada fase, es decir, asegurar que al unir las dos bobinas en el punto central se encuentren un principio y un final de bobina. Este procedimiento es el mismo seguido para determinar la polaridad del primario y el secundario en un transformador monofásico (Studocu, 2024).

Figura 52
Determinar la polaridad relativa de los dos pares de cada fase.

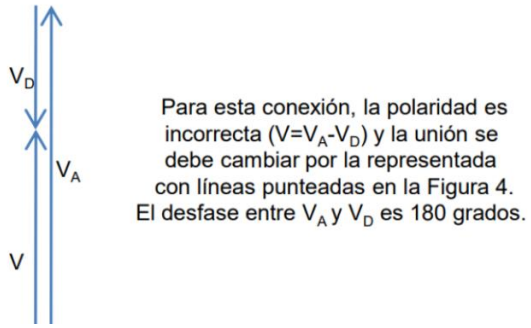


Fuente: información tomada de Studocu, 2024.

Se alimenta con 30 VCA la bobina A y, se une en un punto común con la bobina D. Se mide voltaje entre los terminales libres de las bobinas A y D. Si la lectura es mayor que 30 VCA (polaridad aditiva), quiere decir que el punto común corresponde a la unión de un inicio con un fin de bobina. Si la lectura es menor que 30 VCA (polaridad sustractiva), quiere decir que el punto común corresponde a la unión de dos principios o dos finales, para lograr la polaridad correcta, se deben hacer los cambios de conexión que se representan en líneas punteadas (Studocu, 2024).

Los diagramas fasoriales correspondientes a las diferentes conexiones que se pueden dar se muestran a continuación:

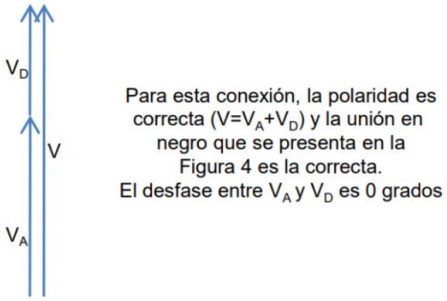
Figura 53
Diagrama fasorial para polaridad aditiva (están unidos principio con final en el punto medio)



Fuente: información tomada de Studocu, 2024.

Figura 54

Diagrama fasorial para polaridad sustractiva (están unidos dos principios o dos finales en el punto medio)

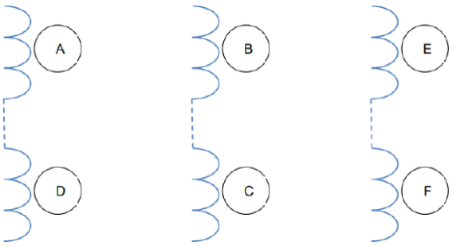


Fuente: información tomada de Studocu, 2024.

La polaridad de los otros dos pares B - C y E - F se logra aplicando el mismo método descrito líneas arriba. En todos los centros con la línea punteada se encuentran unidos los principios y finales (Studocu, 2024).

Figura 55

Bobinas de cada fase unidas en un punto central (principio con final).

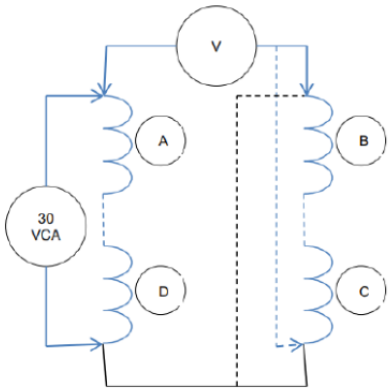


Fuente: información tomada de Studocu, 2024.

Después, queda definir el principio y el final de cada fase, cómo se indica en la siguiente figura.

Figura 56

Principio y el final de cada fase.

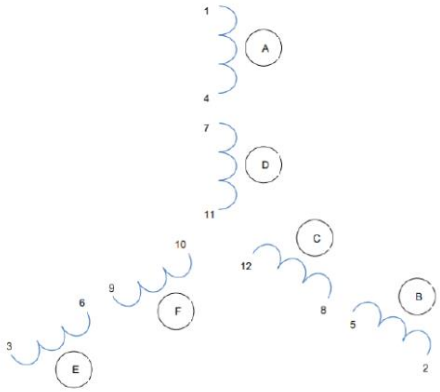


Fuente: información tomada de Studocu, 2024.

Se alimentan con un voltaje de 30 VCA las bobinas A y D (en serie). Se unen en un punto común con las bobinas B y C (en serie). Se mide voltaje entre los terminales libres de las bobinas A-D y B-C. Si la lectura es mayor que 30 VCA (polaridad aditiva), quiere decir que el punto común corresponde a la unión de dos finales de bobina. Si la lectura es menor que 30 VCA (polaridad sustractiva), quiere decir que el punto común corresponde a la unión de un final con un principio, y para lograr la polaridad correcta, se deben hacer los cambios de conexión que se representan en líneas punteadas. Para hallar la polarida de las bobinas E y F, se toman como referencia las mismas bobinas de la fase A y D, y se repite el procedimiento descrito (Studocu, 2024).

Finalmente marcar el bobinado como se muestra en la figura, después se puede proceder a conectarlo de acuerdo a los datos de placa, y a las características del sistema de distribución al cual se va a conectar (Studocu, 2024).

Figura 57
Marcado final de las bobinas de las fases A y D, B y C, E y F.



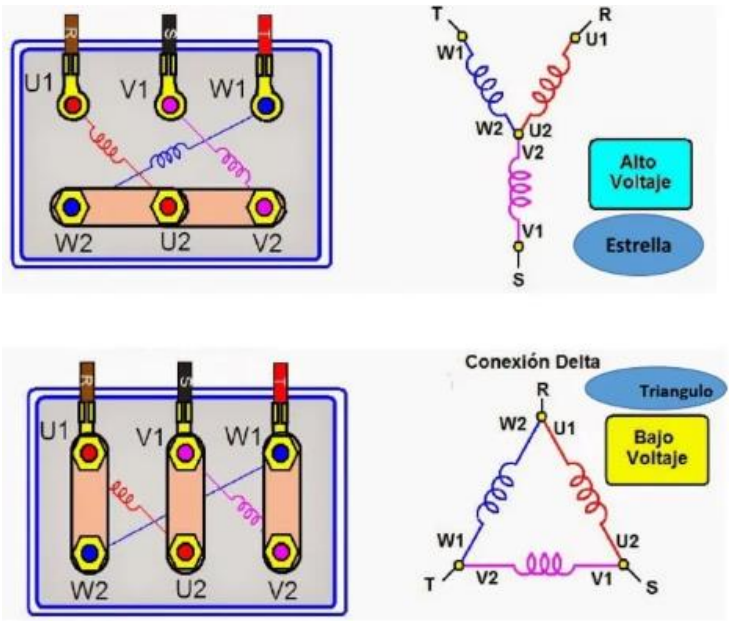
Fuente: información tomada de Studocu, 2024.

2.5.3 Conexión de motores trifásicos de varios terminales.

La conexión de motores trifásicos de varios terminales es fundamental para la correcta operación de maquinaria industrial. Estos motores pueden configurarse en distintas formas, como estrella (Y) o triángulo (Δ), dependiendo de los requisitos de voltaje y corriente. La configuración en estrella es ideal para motores que necesitan arrancar con baja corriente, mientras que la conexión en triángulo es adecuada para obtener mayor potencia. Es esencial seguir las especificaciones del fabricante y utilizar equipos de protección adecuados para asegurar una operación segura y eficiente. Estas conexiones garantizan el rendimiento óptimo y la durabilidad del motor.

Figura 58

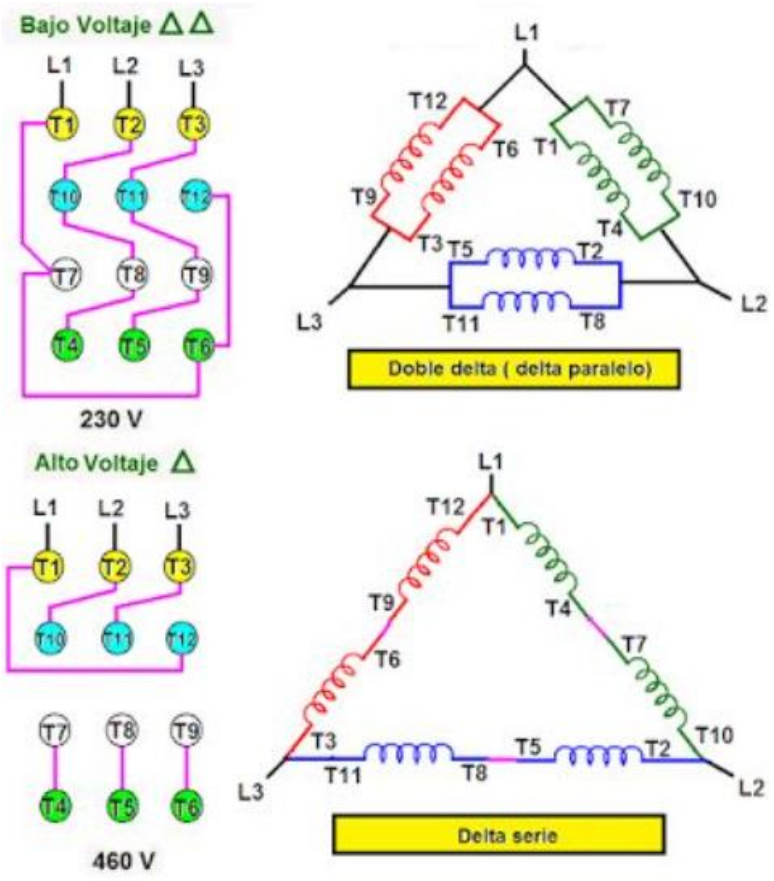
Conexión de un motor trifásico de 6 terminales.



Fuente: información tomada de Scribd, 2024.

Figura 59

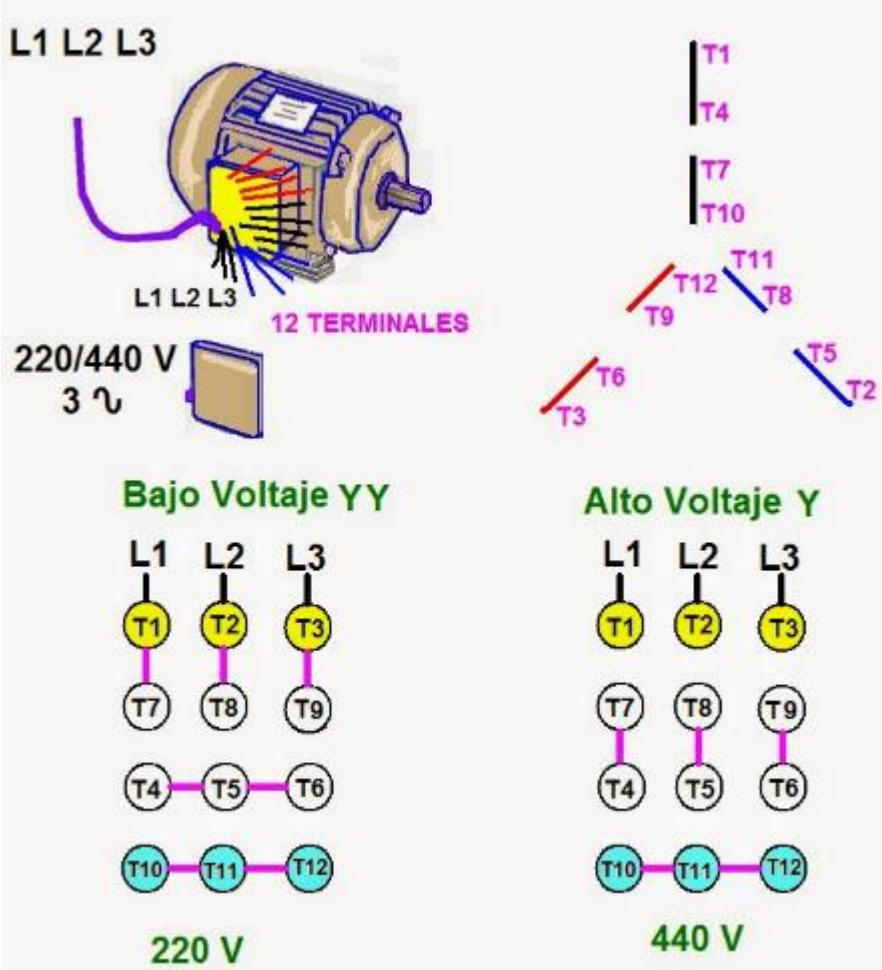
Conexión de un motor trifásico de 12 terminales.



Fuente: información tomada de Coparoman, 2024.

Figura 60

Conexión de un motor trifásico de 9 y 12 terminales.



Fuente: información tomada de Coparoman, 2024.

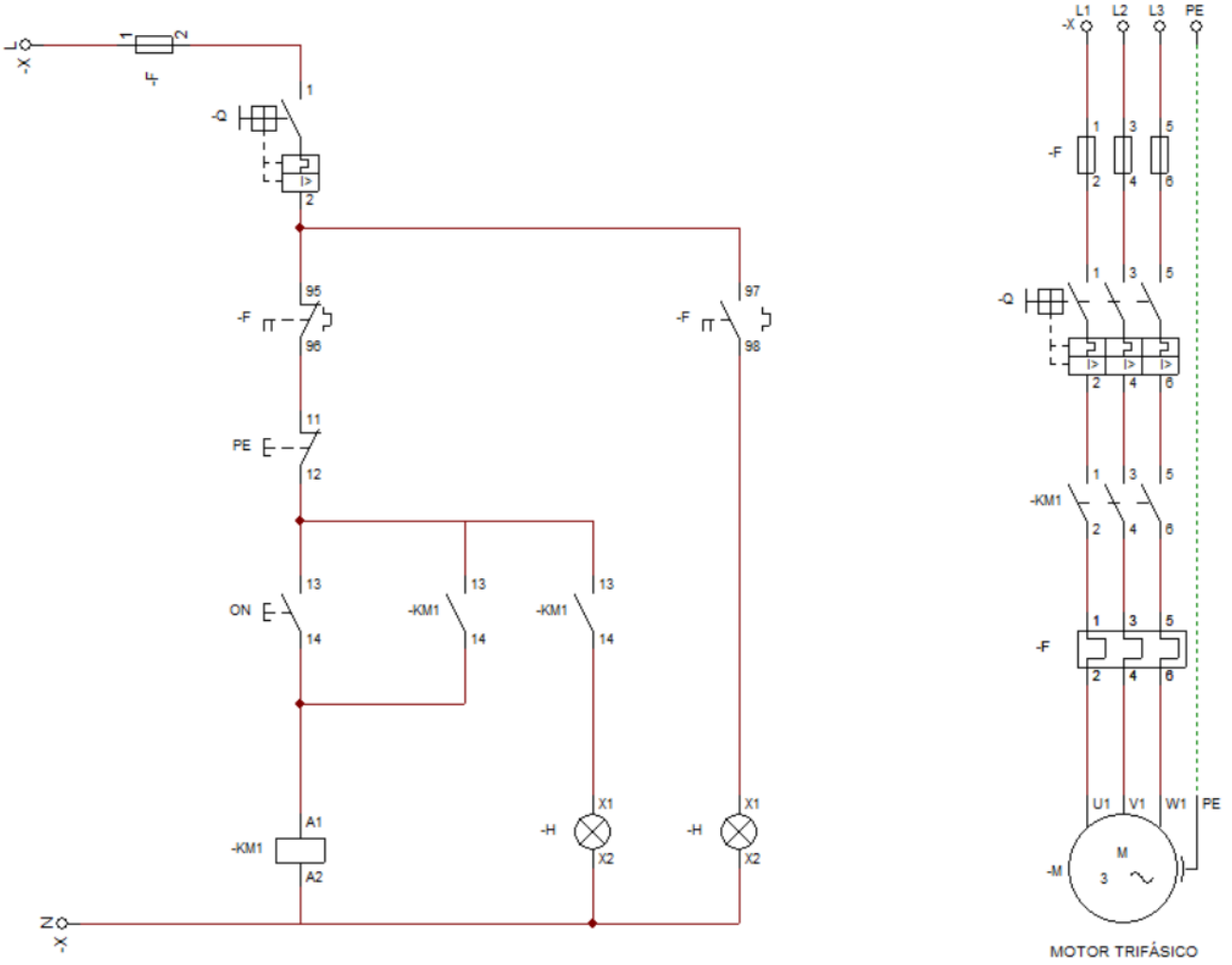
2.6 Arranque de motores eléctricos.

Los circuitos de control y fuerza para motores eléctricos desempeñan un papel crucial en la protección del motor ante sobrecargas de energía eléctrica. Estos circuitos aseguran el funcionamiento seguro y eficiente del motor, evitando daños y prolongando su vida útil. Entre los componentes comunes de estos circuitos se incluyen interruptores, contactores, relés térmicos y fusibles. Además, se emplean en diversas aplicaciones prácticas como en sistemas de ventilación, bombas y maquinaria industrial. Su diseño cuidadoso y adecuado es esencial para garantizar que el motor opere dentro de los parámetros seguros, evitando fallos y garantizando una operación continua y eficiente.

Arranque directo de un motor trifásico

Figura 61

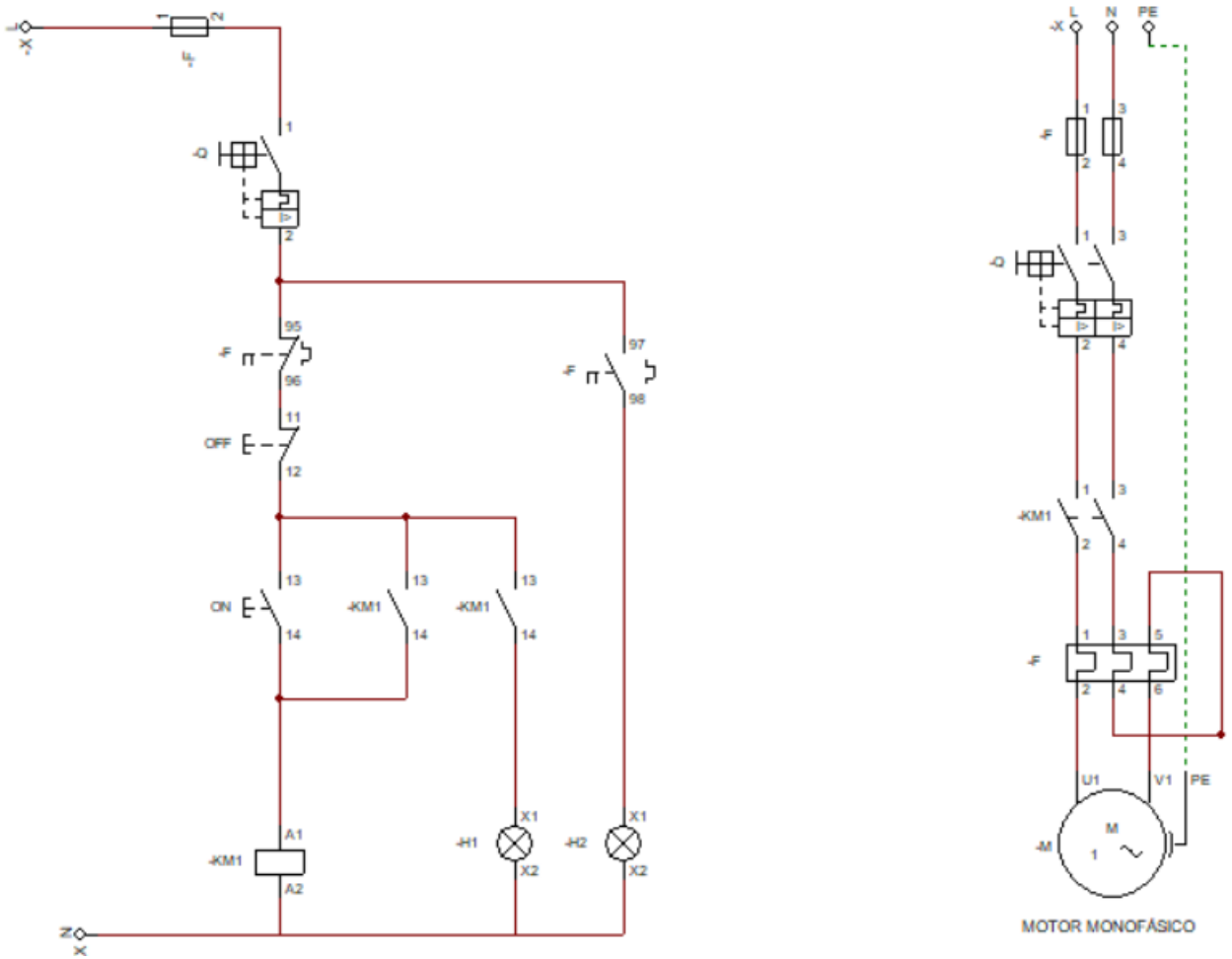
Arranque directo de un motor trifásico.



Fuente: autoría propia.

Arranque directo de un motor monofásico

Figura 62
Arranque directo de un motor monofásico.

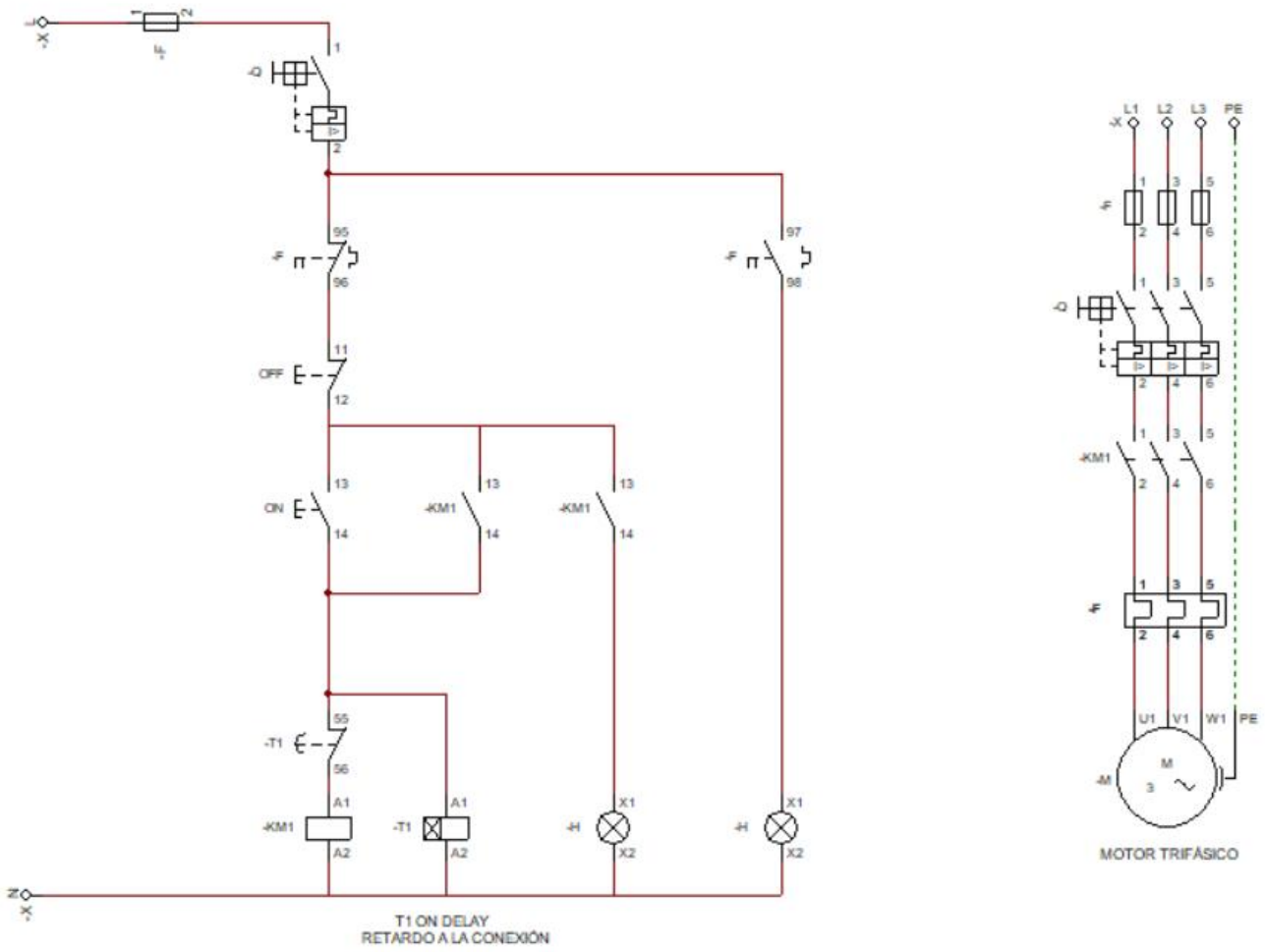


Fuente: autoría propia.

Arranque temporizado de un motor trifásico

Figura 63

Arranque temporizado de un motor trifásico.

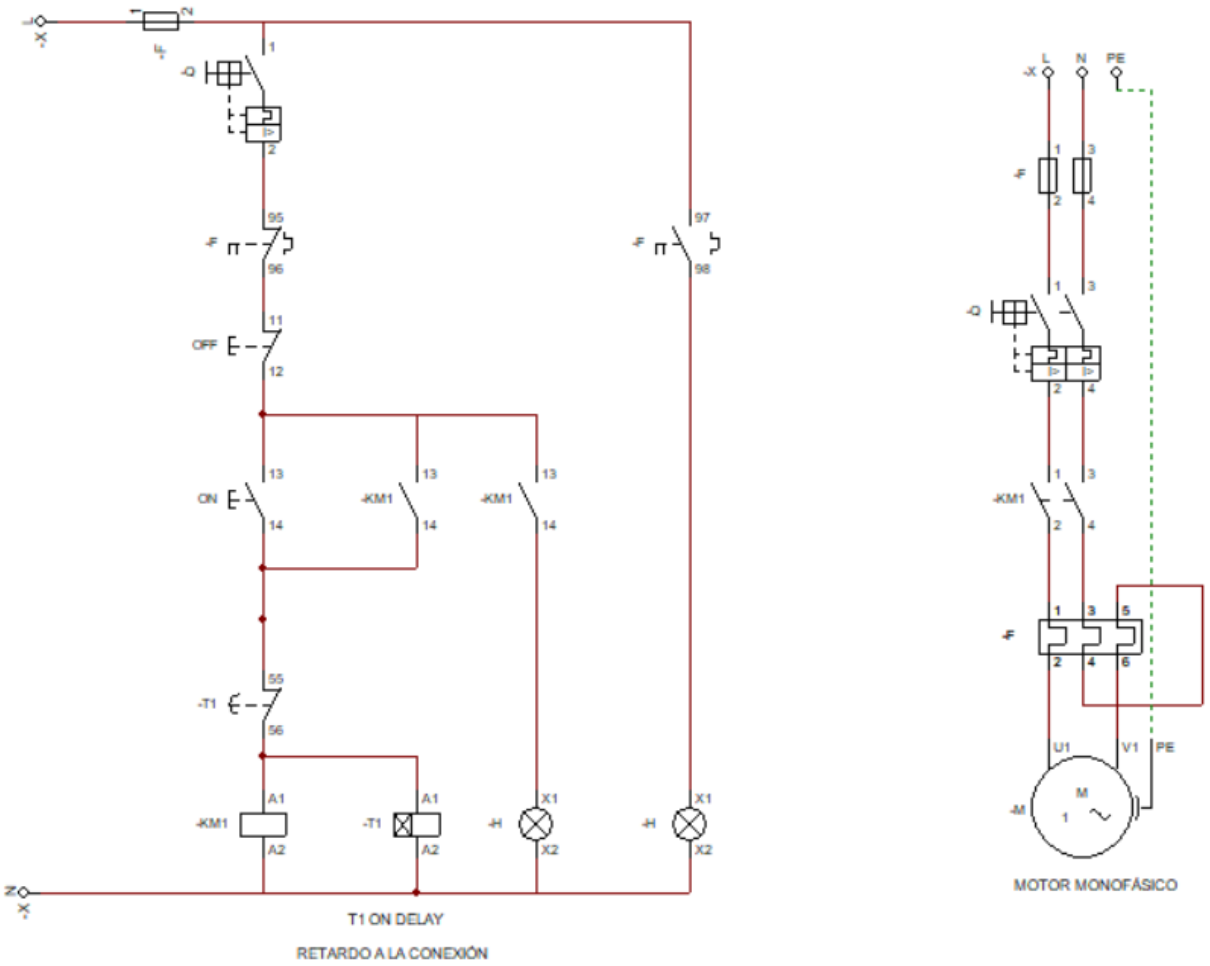


Fuente: autoría propia.

Arranque temporizado de un motor monofásico.

Figura 64

Arranque temporizado de un motor monofásico.

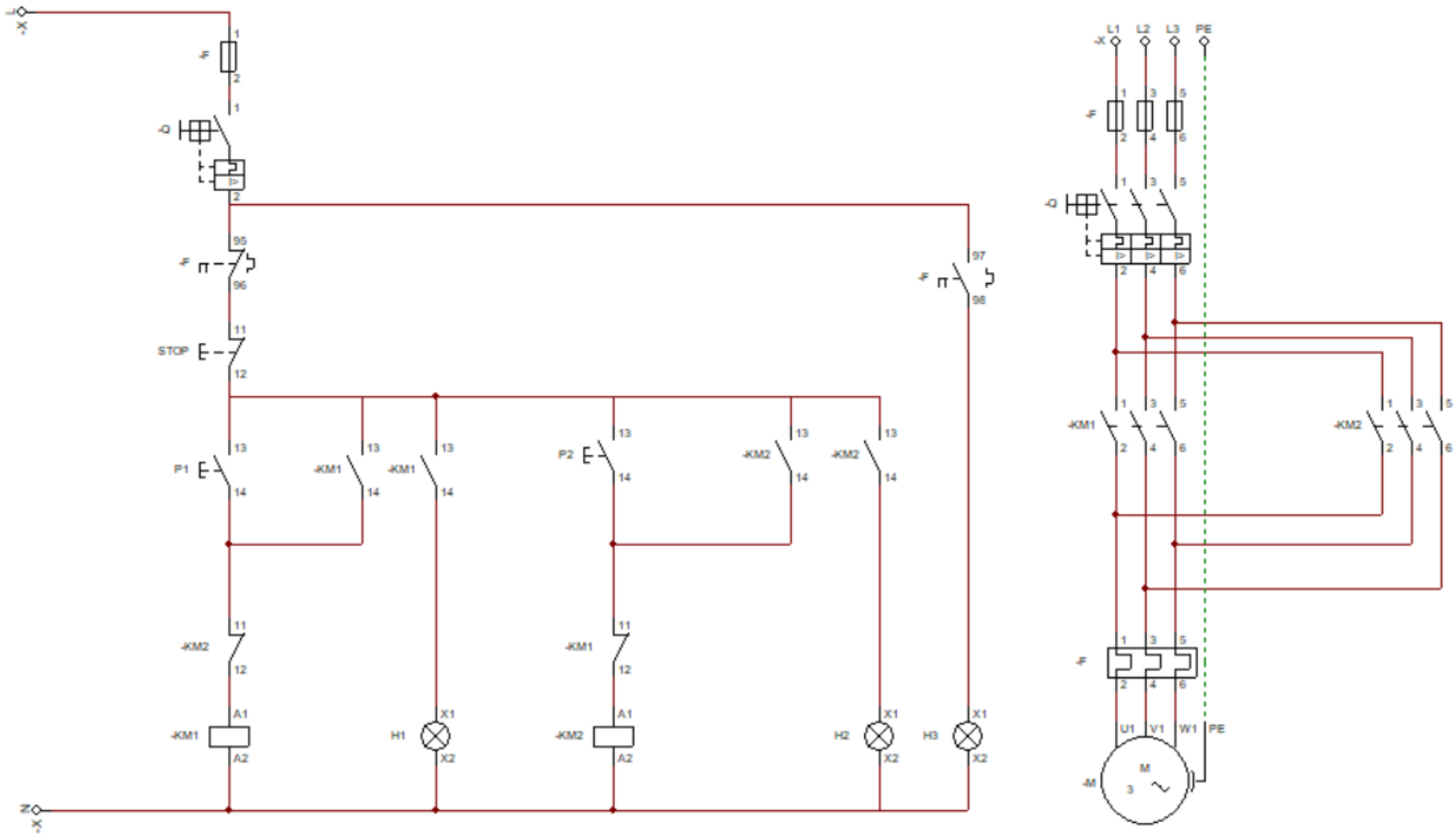


Fuente: autoría propia.

Inversión de giro de un motor trifásico.

Figura 65

Inversión de giro de un motor trifásico.

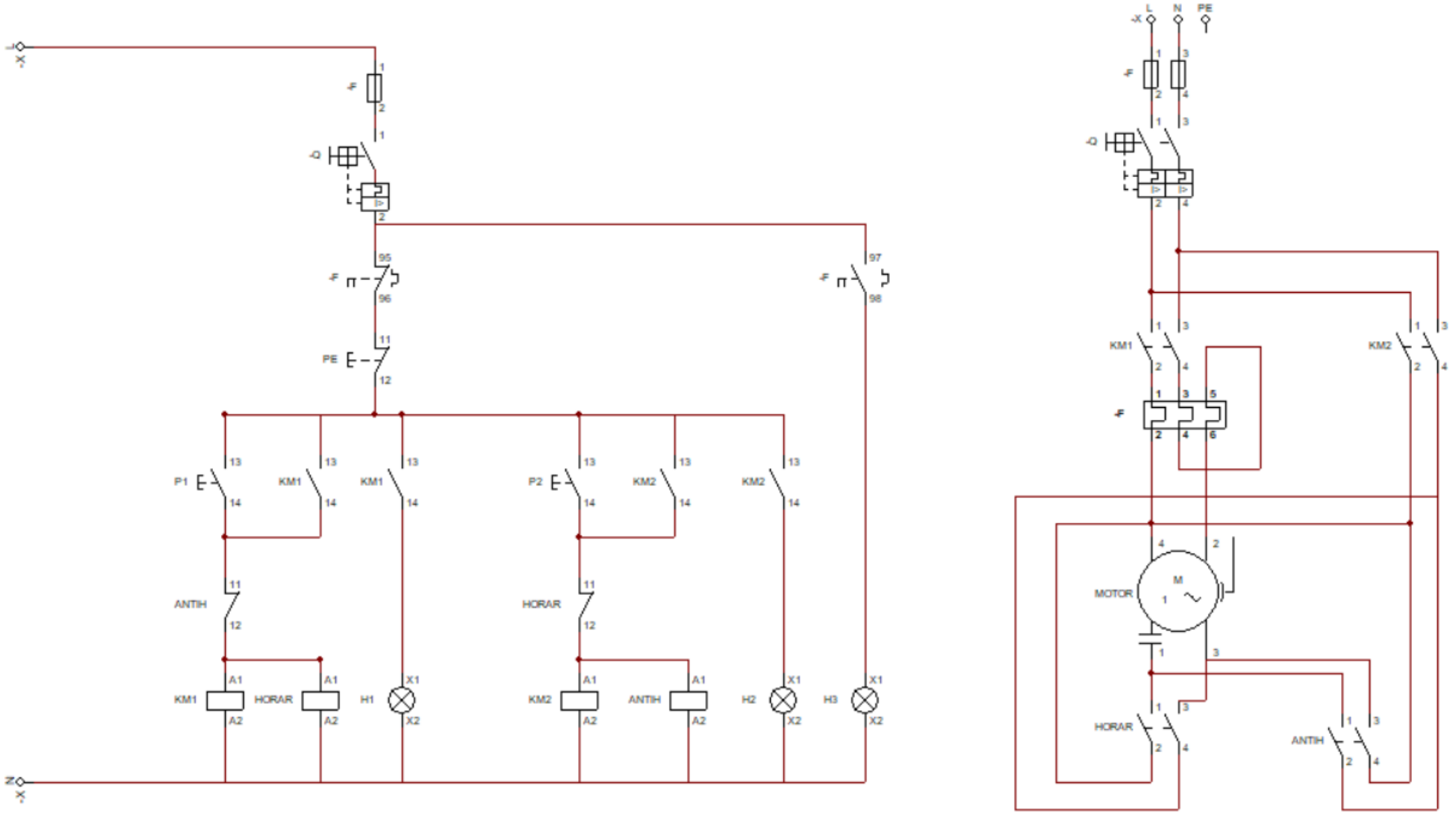


Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 41.

Inversión de giro de un motor monofásico

Figura 66

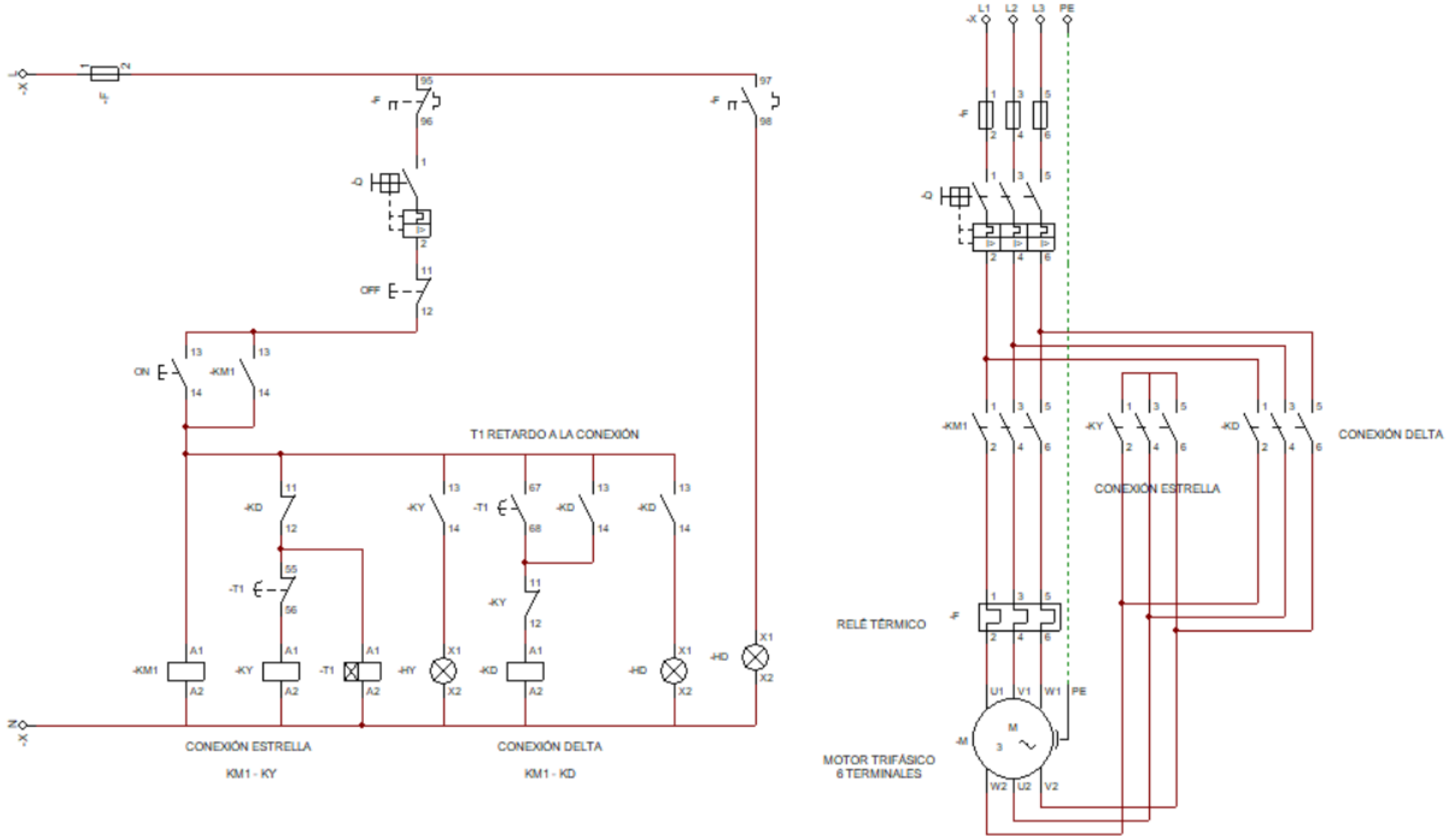
Inversión de giro de un motor monofásico.



Fuente: autoría propia.

Arranque estrella- triángulo.

Figura 67
Arranque estrella- triángulo.



Fuente: autoría propia. Adaptado de Angulo, 1990, p. 45.

Referencias

Adajusa. (3 de junio de 2023). *Pulsador verde contacto abierto*. Adajusa. https: // adajusa.es / pulsadores- electricos-o22mm-plastico/pulsador-verde-contacto-abierto-na.html

Angulo, P. (1990). *Diagramas de Control Industrial.* Escuela Politécnica Nacional.

Área Tecnología. (1 de marzo de 2023). *Relé*. Área Tecnología. http://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html

Blogs Temporizador. (25 de febrero de 2023). *Temporizadores al trabajo*. Blog Temporizador. http://blogstemporizador.blogspot.com/2010/03/temporizador-al-trabajoal-reposo.html

Brico Geek. (13 de mayo de 2023). *Interruptores.* Brico Geek. https://tienda.bricogeek.com/interruptores/200-interruptor-on-off-cuadrado.html

Cade-simu. (22 de abril de 2024). *¿Qué es y para qué sirve CadeSimu?.* Cade-simu. https://cade-simu.com/

Coparoman. (5 de junio de 2024). *Motores eléctricos trifásicos de 9 y 12 terminales.* Coparoman. https://coparoman.blogspot.com/2014/09/motores-electricos-trifasicos-de-9-y-12.html

Durán, J. y Martínez, H. (2012). *Automatismos eléctricos e industriales.* Lexus.

EcuRed. (28 de mayo de 2023). *Circuito secuencial.* EcuRed. https://www.ecured.cu/Circuito_secuencial

EcuRed. (16 de marzo de 2023). *Motor eléctrico trifásico.* EcuRed. https://www.ecured.cu/Motor_el%C3%A9ctrico_trif%C3%A1sico

EfectoLed. (18 de marzo de 2024). *Interruptor automático o seccionadores.* EfectoLed https://www.efectoled.com/blog/es/que-es-y-como-funciona-un-disyuntor/

Electrotec. (25 de junio de 2024). *Bobina de arranque y bobina de trabajo.* Electrotec. https://electrotec.pe/blog/BobinaDeArranqueBobinaDeTrabajo

Generando Watts. (16 de junio de 2024). *Seccionador*. Generando Watts. https://www.generandowatts.com/productos/seccionadores/

León, A. y Espinoza, J. (2010). *Instalaciones de Distribución.* España: Lexus.

Malaysia. (15 de mayo de 2023). *Luces piloto.* Malaysia. http://laptopmalaysia.net/220vac-led-signal-indicator-pilot-lamp-light-malaysia.html

Máquinas eléctricas. (29 de noviembre de 2023). *Clasificación de motores monofásicos y trifásicos.* Máquinas eléctricas. http://maquinaselectricas2016.blogspot.com/2015/11/clasificacion-de-motores-monofasicos-y.html

Rodríguez, E. (25 de enero de 2023). *Automatización y Robótica Industrial*. Enrique María Rodríguez Rodríguez. http://enriquemariarodriguezrodriguez.blogspot.com/2015/01/el-contactor-y-sus-averias.html

Sailema, E. (2013). *La lógica de control industrial y su influencia en la productividad del proceso de sellado de botellas aplicable en los laboratorios de la facultad de ingeniería civil y mecánica.* Tesis de pre grado. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6510/1/Tesis%20I.%20M.%20193%20-%20%20Sailema%20Sailema%20Eliza%20Ver%c3%b3nica.pdf

Schneider. (17 de marzo de 2024). *Relé térmico.* Schneider https://comercelhn.com/catalogs/schneider/Rele%20Termicos.pdf

Scribd. (11 de marzo de 2024). *Conexión de motor monofásico.* Scribd. https://es.scribd.com/document/486066144/Coneion-de-motor-monofasico

Scribd. (26 de mayo de 2024). *Motor de 6 terminales.* Scribd. https://www.google.com/imgres?q=conexi%C3%B3n%20de%20motores%20trif%C3%A1sicos%20de%20varios%20terminales.pdf&imgurl=https%3A%2F%2Fimgv2-1-f.scribdassets.com%2Fimg%2Fdocument%2F450910479%2Foriginal%2F4951c

5ca40%2F1716945772%3Fv%3D1&imgrefurl=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F450910479%2FMOTOR-DE-6-TERMINALES&docid=4xpWnLoeB2wJ9M&tbnid=mx245sjaHpH0sM&vet=12ahUKEwiulOXR0_qGAxWYRDABHcg0DjAQM3oECG8QAA..i&w=768&h=1024&hcb=2&ved=2ahUKEwiulOXR0_qGAxWYRDABHcg0DjAQM3oECG8QAA

Selectra. (07 de abril de 2024). *Interruptor General Automático.* Selectra. https://selectra.es/energia/info/que-es/interruptor-general-automatico#:~:text=El%20Interruptor%20General%20Autom%C3%A1tico%20es,los%20ocupantes%20de%20una%20vivienda.

Studocu. (26 de abril de 2024). *Técnicas para identificar las terminales de un motor Eléctrico.* Studocu. https://www.studocu.com/de/document/montessori-schule-hofheim/chemie/bono-no-1-tecnicas-para-identificar-las-terminales-de-un-motor-electrico/73026255

Transelec. (09 de enero de 2024). *Interruptores diferenciales características y funcionamiento.* Transelec. https://www.transelec.com.ar/soporte/18711/interruptores-diferenciales-caracteristicas-y-funcionamiento/

Universidad Nacional de la Plata. (12 de febrero de 2024). *Motores eléctricos.* Universidad Nacional de la Plata. https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/32/33732/cbe4aba99c3a4eccc904dd2c666d1f03.pdf

WEG. (24 de mayo de 2024). *Guardamotores.* WEG. https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h19/he1/WEG-guardamotores-MPW-50030559-es.pdf

Instituto Superior Universitario Cotopaxi
Parroquia Tanicuchí Panamericana
E35 km. 12 vía Latacunga - Quito