



CONTROL INDUSTRIAL

con CADESIMU

Guía para principiantes

Maxwell Arbey Salazar Guilcamaigua
Paola Alexandra Portero Donoso
Carmen Inés Huerta Suárez

Diseño de carátula y edición: D.I. Yunisley Bruno Díaz

Dirección editorial: PhD. Jorge Luis León González

Sobre la presente edición:

© Editorial EXCED, 2026

ISBN: 978-9942-560-16-2

Podrá reproducirse, de forma parcial o total el contenido de esta obra, siempre que se haga de forma literal y se mencione la fuente.

El contenido del texto y sus datos en su forma, corrección y confiabilidad son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no representan necesariamente la posición oficial de la editorial EXCED.

Se permite descargar la obra y compartirla siempre que se den los créditos a los autores, pero sin posibilidad de alterarla de ninguna forma ni utilizarla con fines comerciales. El manuscrito fue previamente sometido a evaluación abierta por pares y aprobado por el Consejo Editorial, con base en criterios de neutralidad e imparcialidad académica.

EXCED se compromete a garantizar la integridad editorial en todas las etapas del proceso de publicación, evitando plagios, datos o resultados fraudulentos y evitando que los intereses económicos comprometan los estándares éticos de la publicación.



Editorial EXCED

Dr. Kennedy Nueva. 2do Callejón 11 A.
Manzana 42, Número 26.

Guayaquil, Ecuador.

E-mail: editorial@excedinter.com



CONTROL INDUSTRIAL

con CADESIMU

Guía para principiantes

Maxwell Arbey Salazar Guilcamaigua
Paola Alexandra Portero Donoso
Carmen Inés Huerta Suárez

Maritza Librada Cáceres-Mesa,

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

Yamilka Pino-Sera,

Universidad de Holguín, Cuba

Samuel Sánchez-Gálvez,

Universidad de Guayaquil, Ecuador

María Hernández-Hernández,

Universidad de Alicante, España

Héctor Tecumshé-Mojica-Zárate,

Universidad de La Sierra, México

Yadir Torres-Hernández,

Universidad de Sevilla, España

Rodolfo Máximo Fernández-Romo,

Universidad Autónoma de Chile, Chile

Kenia Noguera-Nuñez,

Universidad Católica Santo Domingo, República Dominicana

Oscar Alberto Pérez-Peña,

Universidad Internacional de La Rioja, España

Marily Rafaela Fuentes-Aguila,

Universidad Metropolitana, Ecuador

Nancy Malavé-Quintana,

Universidad Rey Juan Carlos, España

Lázaro Salomón Dibut-Toledo,

Universidad del Golfo de California, México

Luisa Morales-Maure,

Universidad de Panamá, Panamá

Farshid Hadi,

Islamic Azad University, Irán

Mikhail Benet-Rodríguez,

Fundación Universitaria Cafam, Colombia

Prólogo	9
Introducción	13
 Capítulo 1. Fundamentos y organización de la energía en la automatización industrial	17
1.1. Evolución y fundamentos de la automatización industrial	17
1.2. Componentes clave de un sistema industrial automatizado	20
1.3. Estructura y funcionamiento de un sistema eléctrico industrial	21
 Capítulo 2. Componentes básicos para instalaciones eléctricas	30
2.1. Conductores y cables eléctricos: tipos, características y aplicaciones	30
2.2. Bases y tomacorrientes industriales: tipos, aplicaciones y especificaciones	43
2.3. Dispositivos de maniobra y control en sistemas eléctricos	45
 Capítulo 3. Introducción al Cadesimu	48
3.1. Cadesimu como herramienta de simulación en la automatización industrial	48
3.2. Procedimiento de ejecución y reconocimiento de la interfaz de Cadesimu	53
3.3. Barra de herramientas y menús principales del software	57

Capítulo 4. Dispositivos de maniobra y control industrial 63

4.1. Contactores y dispositivos de conmutación industrial63

4.2. Relés industriales: funcionamiento y aplicaciones77

4.3. Temporizadores en sistemas de automatización 81

Capítulo 5. Circuitos de lógica cableada y control industrial 85

5.1. Representación de los circuitos de automatismos85

5.2. Suministro eléctrico para circuitos de potencia y maniobra87

5.3. Maniobras en los circuitos de automatismos.....91

5.4. Sistemas de enclavamiento en circuitos de control92

Capítulo 6. Dispositivos de protección eléctrica y estrategias de seguridad en instalaciones95

6.1. Problemas comunes en las instalaciones eléctricas95

6.2. Dispositivos y estrategias de protección en instalaciones eléctricas 98

6.3. Fusibles: funcionamiento, características y diagrama intensidad/tiempo100

6.4. Relé térmico: funcionamiento, conexiones y aplicaciones en protección de motores107

6.5. Interruptor automático: tipos, funcionamiento y aplicaciones en protección eléctrica112

6.6. Interruptor diferencial: funcionamiento y protección de personas	115
6.7. Descargadores de sobretensiones: protección de instalaciones críticas	117

Capítulo 7. Instrumentos y sistemas de medición eléctrica

120

7.1. Voltímetro: medición de tensión en instalaciones eléctricas	120
7.2. Amperímetro, óhmetro, vatímetro y otros medidores eléctricos	122
7.3. Equipos de monitoreo y medición avanzada de redes eléctricas	126

Capítulo 8. Esquemas de control de motores eléctricos

130

8.1. Motores monofásicos: conexión, funcionamiento y control de giro	130
8.2. Motores trifásicos: arranque directo y arranque estrella-triángulo (manual y automático)	132
8.3. Control de inversión de giro en motores trifásicos mediante pulsadores	134

Referencias

137

Autores

139

La automatización industrial ha sido una de las fuerzas transformadoras más significativas de la sociedad moderna. Desde sus inicios, ha redefinido la manera en que se desarrollan los procesos productivos, incrementando la eficiencia, la calidad de los productos y la seguridad de los trabajadores. La evolución de la tecnología ha traído consigo nuevas herramientas y software que permiten diseñar, simular y controlar sistemas complejos con precisión y confiabilidad.

Sin embargo, para que estas innovaciones tengan un impacto real, es necesario que los profesionales del control industrial comprendan primero los fundamentos que sostienen la automatización: la teoría, los principios eléctricos, los componentes y la lógica detrás de cada circuito y cada dispositivo. Es precisamente en este contexto que surge *Control Industrial con CADESIMU: Guía para Principiantes*, con la intención de acompañar a quienes se inician en este apasionante mundo y ofrecerles una comprensión clara y estructurada de los elementos esenciales de la automatización.

Este libro no pretende saturar al lector con conceptos avanzados desde el inicio, sino que se construye sobre una progresión lógica que permite consolidar conocimientos paso a paso. Comienza con los fundamentos básicos de la automatización, la estructura de los sistemas eléctricos y los componentes esenciales de una instalación industrial, asegurando que el lector desarrolle un entendimiento sólido de los cimientos sobre los cuales se construyen los sistemas de control. La claridad en la exposición y el enfoque gradual permiten que incluso aquellos sin experiencia previa puedan familiarizarse con los conceptos sin sentirse abrumados, y a la vez sentar bases firmes para profundizar en prácticas más complejas en el futuro.

Los capítulos iniciales exploran la naturaleza de los dispositivos eléctricos fundamentales: conductores,

bases de tomacorriente, interruptores, pulsadores y selectores, estableciendo un marco conceptual que será indispensable al avanzar hacia los circuitos de maniobra y control. Esta atención a los detalles de los componentes refleja la filosofía central del libro: comprender cada elemento no solo de manera aislada, sino como parte de un sistema integrado donde cada dispositivo tiene un propósito y una función específica. Esta comprensión es crucial para evitar errores en la instalación, la simulación y la operación de los sistemas automatizados, y para fomentar la seguridad industrial, un principio que debe guiar todas las prácticas de control.

El corazón de esta obra es la introducción al software CADESIMU, una herramienta que ha revolucionado la forma en que los estudiantes y profesionales pueden practicar y experimentar con sistemas eléctricos y de automatización. CADESIMU permite simular circuitos, probar dispositivos, y analizar resultados en un entorno seguro, evitando riesgos y costos asociados con la experimentación en sistemas reales. Los capítulos dedicados al software guían al lector desde la instalación inicial, pasando por la exploración de las barras de herramientas, menús y bibliotecas de componentes, hasta la simulación de escenarios prácticos. Esta sección demuestra que la automatización no es un concepto abstracto, sino un conjunto de prácticas que pueden ensayarse, medirse y optimizarse con herramientas digitales modernas, preparando al estudiante para enfrentar desafíos reales en el ámbito industrial.

Los capítulos sobre dispositivos de maniobra y control profundizan en contactores, relés industriales y temporizadores, elementos que constituyen la columna vertebral de cualquier sistema automatizado. El libro explica no solo el funcionamiento individual de cada dispositivo, sino también su integración en circuitos de control complejos, incluyendo lógica cableada, alimentación de los circuitos de potencia y maniobra, control de mando y enclavamientos. Estas explicaciones permiten al lector comprender cómo se traduce un diseño conceptual en un sistema funcional y seguro, y cómo cada decisión de diseño afecta la operación y la eficiencia del sistema completo.

La obra dedica un espacio significativo a los dispositivos de protección y medición, reflejando la importancia de la seguridad y el monitoreo en la automatización industrial. Se analizan problemas comunes en las instalaciones eléctricas y se presentan soluciones prácticas, incluyendo fusibles, relés térmicos, interruptores automáticos, diferenciales y descargadores de sobretensiones. Asimismo, los instrumentos de medición, desde voltímetros y amperímetros hasta analizadores de redes y transformadores de medida, son tratados con detalle, mostrando cómo la información precisa y oportuna es vital para la operación, el mantenimiento y la optimización de cualquier sistema industrial.

Uno de los aspectos más valiosos del libro es la exposición sobre los esquemas de control de motores, incluyendo motores monofásicos y trifásicos, arranques estrella-triángulo, inversión de giro mediante pulsadores y métodos de temporización automáticos y manuales. Estas secciones combinan teoría y práctica de manera que el lector puede entender tanto el principio de funcionamiento como su aplicación práctica en simulaciones y, eventualmente, en instalaciones reales. La presentación de estos esquemas demuestra que el control industrial es un campo donde la lógica, la planificación y la precisión se unen para lograr eficiencia, seguridad y confiabilidad.

Este libro no solo proporciona conocimientos técnicos, sino que también inspira una actitud de aprendizaje continuo y reflexión crítica. La automatización industrial no es un área estática; evoluciona constantemente con nuevos dispositivos, softwares y metodologías. Por ello, el lector es invitado a experimentar, simular, analizar y cuestionar, desarrollando un pensamiento sistémico y creativo que será invaluable a lo largo de su carrera profesional. Además, se promueve una conciencia clara sobre la seguridad, la eficiencia energética y el respeto a los estándares de calidad, elementos esenciales para el desarrollo responsable de cualquier proyecto industrial.

Control Industrial con CADESIMU es más que una guía para principiantes: es un puente entre la teoría y la práctica, entre la formación académica y el mundo profesional. Cada capítulo

ha sido diseñado para ofrecer un recorrido lógico, seguro y motivador, que permita al lector construir habilidades paso a paso, consolidando conocimientos y ganando confianza en la simulación y operación de sistemas eléctricos automatizados. La obra refleja el compromiso de sus autores con la formación de profesionales capaces, responsables y conscientes del impacto de la automatización en la industria, la sociedad y la seguridad de las personas.

Al recorrer estas páginas, el lector comprenderá que el control industrial no es simplemente conectar cables y dispositivos, sino diseñar, analizar y optimizar sistemas que mejoren la producción, protejan vidas y promuevan la eficiencia y sostenibilidad. Esta obra se convierte, así, en un aliado indispensable para todo aquel que desee iniciar su camino en la automatización industrial, ofreciendo conocimientos sólidos, prácticas seguras y una guía confiable que lo acompañará desde los conceptos más básicos hasta los retos de simulación más avanzados con CADESIMU.

Los Autores

INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno, la automatización se ha convertido en un pilar indispensable dentro de diversos sectores industriales y productivos. Su adopción permite a las empresas mejorar sus procesos haciéndolos más eficientes, rápidos y seguros para los trabajadores. Desde los primeros sistemas mecánicos hasta la actual convergencia con la Industria 4.0, el control eléctrico y la automatización han sido factores clave en la optimización de los recursos y en la reducción de costos operativos, permitiendo a las empresas aumentar su competitividad y responder con flexibilidad a las demandas del mercado (Groover, 2021). La automatización, por tanto, no es únicamente una herramienta de productividad, sino un componente estratégico que impulsa la innovación y la sostenibilidad industrial.

El desarrollo de la automatización requiere de un conocimiento profundo debido a la gran diversidad de componentes disponibles en el mercado y a la multiplicidad de métodos de implementación. Entre ellos, la lógica cableada ha sido históricamente la base de la automatización industrial. Esta metodología permite el desarrollo de circuitos de control para motores eléctricos, sistemas de iluminación, procesos de manufactura y otras aplicaciones críticas (Bolton, 2015). Comprender la lógica cableada y sus principios es fundamental para cualquier profesional que desee desempeñarse en la industria, ya que constituye el fundamento sobre el cual se construyen sistemas más complejos y modernos, incluidos los automatismos programables y los sistemas de control digital.

Con el avance tecnológico y la sofisticación de los equipos industriales, la capacitación práctica se enfrenta a desafíos significativos. Los equipos reales son costosos, requieren mantenimiento especializado y, en muchos casos, representan riesgos si no se utilizan correctamente. Es aquí donde el software de simulación,

como CADESIMU, adquiere un papel esencial en la formación de los profesionales.

Plataformas de simulación como CADESIMU permiten practicar la conexión y el análisis de circuitos eléctricos en un entorno seguro y controlado, donde los errores no implican pérdidas económicas ni riesgos para los operadores. Además, el uso de estas herramientas facilita la comprensión de los principios eléctricos mediante una metodología práctica e interactiva, favoreciendo el aprendizaje activo y la asimilación de conceptos complejos (Kumar y Babu, 2024).

El objetivo principal de este libro es ofrecer una guía accesible y progresiva para quienes se inician en el mundo del control industrial y la automatización. Se busca sintetizar el amplio contenido técnico relacionado con el control industrial, que a menudo resulta abrumador para estudiantes o profesionales sin experiencia práctica, y presentarlo de manera estructurada, clara y didáctica. La obra cubre desde los conceptos más básicos hasta la aplicación de software especializado, con un enfoque en la práctica mediante simulación, para que el lector pueda consolidar sus habilidades de manera gradual y segura.

El aprendizaje de la automatización industrial no se limita a la teoría; requiere un enfoque aplicado que combine conocimiento conceptual, capacidad de análisis y habilidades técnicas. Este libro guía al lector en la identificación de los componentes eléctricos, la comprensión de sus funciones, la planificación y diseño de circuitos de control y la simulación de procesos industriales completos. Al finalizar, los estudiantes o profesionales serán capaces de diseñar y analizar circuitos de automatización utilizando CADESIMU, fortaleciendo sus competencias en el ámbito de la electrónica industrial y preparándolos para enfrentar desafíos reales en entornos laborales complejos.

Asimismo, esta obra enfatiza la importancia de comprender la seguridad industrial como un principio fundamental. Los sistemas automatizados involucran riesgos que deben ser prevenidos mediante la correcta selección de dispositivos de protección, la interpretación adecuada de los esquemas eléctricos y la

planificación de maniobras de control. La simulación con CADESIMU permite al estudiante experimentar situaciones potencialmente peligrosas sin exponerse a riesgos, desarrollando una mentalidad crítica y responsable que será indispensable en su desempeño profesional.

Finalmente, el libro también busca despertar en el lector una visión integral de la automatización industrial. No se trata únicamente de conectar cables o simular circuitos, sino de entender cómo cada componente, cada conexión y cada dispositivo contribuye al funcionamiento armonioso de un sistema completo. Esta comprensión sistémica, combinada con la práctica en simulación, permitirá al estudiante o profesional no solo aplicar conocimientos, sino también innovar, optimizar procesos y contribuir al desarrollo tecnológico y eficiente de la industria moderna.

Este libro es, por lo tanto, una herramienta que equilibra teoría y práctica, fundamentos y aplicación, conocimiento técnico y responsabilidad profesional. Su propósito es que el lector adquiera confianza, comprensión y habilidad, convirtiéndose en un profesional capaz de enfrentar los retos del control industrial con seguridad, creatividad y eficiencia. Este enfoque progresivo asegura que cada usuario, independientemente de su nivel inicial, pueda avanzar desde los conceptos básicos hasta la simulación de procesos industriales complejos, logrando un aprendizaje sólido y duradero que lo prepare para la práctica real en el entorno industrial.



CAPÍTULO

Fundamentos y organización de la energía en la automatización industrial

1.1. Evolución y fundamentos de la automatización industrial

La automatización se refiere a lograr que un proceso o una máquina operen por sí mismos. El campo de la automática se dedica a encontrar formas de reemplazar a una persona que opera algo con un sistema artificial que usa aparatos mecánicos o electrónicos para hacer un trabajo que ya se le ha indicado.

Si juntamos estas ideas, podemos decir que la automatización es aplicar la automática para controlar cómo funcionan las industrias. Esto significa añadir a un proceso específico varios elementos y aparatos eléctricos, electromecánicos y electrónicos que están conectados entre sí. Estos componentes trabajan juntos para asegurar que el proceso se gestione, se controle y funcione correctamente; a esto lo llamamos automatismos industriales.

En la industria, la forma en que se produce algo puede

clasificarse en cuatro tipos principales: se transforman materiales, se fabrican productos, se distribuyen esos productos y se verifica o mide su calidad.

Los sistemas automáticos han hecho posible lograr varias cosas importantes, como bajar los costos de producción, hacer que las líneas de producción funcionen mejor y con mayor calidad, y evitar que los trabajadores tengan que hacer tareas peligrosas, muy repetitivas o que requieran una exactitud extrema.

Antes, todo el trabajo en las fábricas se hacía a mano, donde una persona realizaba cada paso para fabricar algo. Luego, surgieron los procesos de mecanizado, que introdujeron ciertas máquinas en la producción. Esto llevó finalmente a los procesos automáticos, donde una máquina es la que produce las cosas siguiendo instrucciones creadas por personas.

Hoy en día, la automatización en la industria ha llegado a una etapa que se conoce como proceso automático integrado. En esta fase, las máquinas se comunican entre sí durante el proceso de fabricación.

La evolución de los automatismos industriales surge de la necesidad de mejora de los antiguos sistemas y técnicas de control manual, que requerían una mano de obra extremadamente cualificada y ralentizaban enormemente la velocidad y competitividad de los procesos (Rodríguez et al., 2014).

La automatización inicia al tratar de reemplazar las tareas manuales con procesos más ágiles con la introducción de la lógica cableada, la cual consiste en el uso de elementos electromecánicos como contactores o relés para la puesta en marcha de los diferentes procesos industriales.

Pero, llegando a finales de los años sesenta, las fábricas necesitaban procesos cada vez más complejos. Los sistemas de automatización que usaban conexiones de cables fijas empezaron a generar dificultades (Rodríguez et al., 2014). Por lo

tanto, se necesitaba gente muy preparada para diseñar, instalar y mantener estos sistemas.

Además, cuando había una avería y se tenían que cambiar piezas del sistema automático, esto costaba mucho dinero. Y como la fábrica tenía que parar su producción, las pérdidas económicas eran enormes. Si a eso se incluye que poner al día las instalaciones que usaban relés era un proceso muy lento y caro. Los electricistas tenían que ir máquina por máquina y volver a colocar los cables de forma individual.

Compañías como Shell Oil y ExxonMobil (ahora ExxonMobil) buscaron soluciones más flexibles y confiables para la automatización de sus procesos. La necesidad de adaptarse a los cambios en un mercado en constante demanda, optimizar la eficiencia y mejorar la seguridad impulsó la adopción temprana de los PLC en este sector (Johnson, 1987). La capacidad de reprogramar la lógica de control sin necesidad de recableado físico representó una ventaja significativa para estas industrias con procesos complejos y continuos (Figura 1.1).

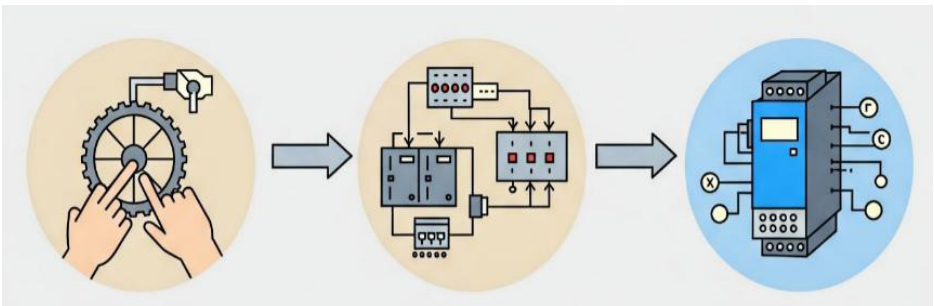


Figura 1.1. Representación de la evolución de la automatización industrial.

La imagen representa simbólicamente el proceso de automatización, desde los procesos que se realizaban de forma manual, luego por la automatización cableada y finalmente la automatización con PLC.

1.2. Componentes clave de un sistema industrial automatizado

En cualquier sistema de automatización industrial existe una serie de elementos que trabajan juntos para que todo funcione correctamente. A continuación, se explica de manera resumida estos componentes esenciales:

- 1. La red eléctrica:** Todo empieza con la energía eléctrica, que normalmente llega a las industrias en forma trifásica. Esta energía puede venir directamente de la compañía eléctrica, especialmente en negocios más pequeños. Sin embargo, en la mayoría de las fábricas e industrias de hoy en día, es común tener sus propios transformadores para gestionar la energía eléctrica.
- 2. Línea de entrada a la instalación eléctrica:** Una vez que tenemos la energía, necesita entrar a la instalación eléctrica de la industria. Si la energía viene directamente de un transformador de la compañía eléctrica, a esta conexión se le suele llamar derivación individual.
- 3. El centro de control, los cuadros eléctricos:** Aquí es donde se encuentran los dispositivos importantes para proteger, operar y gestionar el sistema automático. El principal de ellos suele ser el Cuadro General de Baja Tensión (CGBT), y puede haber otros cuadros más pequeños o armarios secundarios. Estos contienen lo que se conoce como aparamenta eléctrica.
- 4. Zona de mando y control:** Esta es el área donde los operadores que trabajan en la industria pueden interactuar con el sistema automático. Esto puede ser a través de paneles de control, escritorios especiales o incluso salas de operaciones completas. Desde aquí, también se puede observar y analizar cómo están funcionando los procesos.
- 5. Sensores:** Estos son los componentes que se encargan de “sentir” lo que está pasando en el mundo exterior y dentro del

proceso industrial. Miden diferentes cosas, como la temperatura, la presión, la velocidad, el nivel de líquidos, la posición de objetos, etc., y transforman esa información en señales eléctricas que el sistema automático puede entender. Hay muchos tipos diferentes de sensores, cada uno diseñado para medir algo específico, como los capacitivos, inductivos o magnéticos.

6. **Actuadores:** Estos son los componentes que hacen que las cosas sucedan en el mundo físico. Los más comunes en la automatización industrial son los motores que hacen girar las máquinas, las resistencias que generan calor, los bancos de condensadores que ayudan a la eficiencia energética, las electroválvulas que controlan el flujo de líquidos o gases, las luces de señalización que indican el estado de un proceso y los brazos robóticos que realizan tareas de fabricación.
7. **Conductores eléctricos:** Finalmente, necesitamos algo que conecte todos estos componentes y permita que la energía eléctrica y las señales de control viajen entre ellos. Estos son los cables y otros tipos de conductores eléctricos, que son esenciales para que el sistema automático funcione como un todo.

1.3. Estructura y funcionamiento de un sistema eléctrico industrial

El sistema eléctrico es el conjunto de infraestructuras y equipos encargados de transmitir la electricidad desde su punto de origen hasta los usuarios finales. Este proceso se divide en cuatro etapas fundamentales: **generación, transporte, distribución y consumo**.

Podemos entender que las instalaciones eléctricas, ya sean para fábricas, hogares o cualquier otro propósito, se pueden agrupar de diferentes maneras, considerando cuánta electricidad manejan (su potencia), para qué se utilizan o cómo están diseñadas.

Sin embargo, una de las clasificaciones más importantes se basa en la cantidad de voltaje que utilizan. Actualmente se establecen que, según este voltaje, las instalaciones eléctricas se dividen principalmente en dos categorías:

- **Instalaciones de baja tensión:** Son sistemas eléctricos que funcionan con un voltaje máximo de 1000 V en corriente alterna o 1500 V en corriente continua.
- **Instalaciones de alta tensión:** Se refieren a aquellas que operan con voltajes superiores a 1000 V en corriente alterna o 1500 V en corriente continua.

Esta distinción por el nivel de voltaje es fundamental para determinar las normas de seguridad y los procedimientos que se deben seguir al trabajar con cada tipo de instalación (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Clasificación de las instalaciones eléctricas en función de los niveles de tensión.

	Corriente alterna	Corriente continua
Instalaciones de baja tensión (BT)	$\leq 1000 \text{ VCA}$	$\leq 1500 \text{ VCC}$
Instalaciones d alta tensión (AT)	$> 1000 \text{ VCA}$	$> 1500 \text{ VCC}$

Nota: VCA = voltaje de corriente alterna, VCC = voltaje de corriente continua

Según Rodríguez et al. (2014), en la práctica, dentro del grupo de las instalaciones de corriente alterna, al ser el tipo de corriente más utilizada para su generación, transporte, distribución y consumo, se suelen clasificar las tensiones de una manera mucho más específica (Figura 1.2).

BAJA TENSIÓN			ALTA TENSIÓN		
Muy baja tensión (de seguridad, de protección o funcional)	Tensión usual	Tensión especial	Media Tensión	Muy alta Tensión	
0 VCA	50 VCA	500VCA	1000VCA	66000VCA	400000 VCA

Figura 1.2. Niveles de tensión en corriente alterna para baja y alta tensión.

Fuente: Gutiérrez (2008).

Baja Tensión (0 VCA - 1000 VCA)

La **baja tensión** es utilizada en la mayoría de los sistemas eléctricos industriales, comerciales y residenciales, ya que es segura para el uso humano cuando se siguen las normativas de instalación adecuadas.

Muy Baja Tensión (0 - 50 VCA): Este rango se emplea principalmente en aplicaciones de seguridad y protección, donde es necesario reducir el riesgo de electrocución.

Ejemplos de uso:

- Circuitos de control y señalización en industrias.
- Equipos electrónicos como computadoras y televisores (fuentes de alimentación internas).
- Iluminación LED de baja tensión.
- Sistemas de telecomunicaciones y redes de datos (típicamente 24V o 48V en equipos de comunicación).

Tensión Usual (50 - 500 VCA): Este rango es el más utilizado en redes eléctricas domésticas y comerciales. La mayoría de los equipos eléctricos funcionan en este nivel de tensión.

Ejemplos de uso:

- **110V / 220V:** Instalaciones eléctricas residenciales y comerciales en distintos países (EE.UU. usa 110V, mientras que Europa y Latinoamérica usan 220V).
- **380V / 440V:** Motores eléctricos industriales de baja potencia y sistemas trifásicos en fábricas.
- Sistemas de calefacción eléctrica, refrigeración y electrodomésticos de alto consumo.
- Equipos eléctricos de construcción, como soldadoras y herramientas industriales.

Tensión Especial (500 - 1000 VCA): Este nivel de tensión es característico de ciertos sistemas industriales con altas demandas de potencia y aplicaciones específicas que requieren mayor eficiencia en la transmisión.

Ejemplos de uso:

- Motores de alto rendimiento en la industria minera y metalúrgica.
- Sistemas de distribución de energía dentro de fábricas y grandes plantas industriales.
- Hornos eléctricos industriales para fundición de metales.
- Trenes eléctricos de alto voltaje en ciertas redes ferroviarias.

Alta Tensión (Mayor a 1000 VCA)

La alta tensión se emplea en la transmisión y distribución de energía eléctrica a grandes distancias para reducir pérdidas. Su uso está restringido a sistemas especializados y requiere estrictas medidas de seguridad.

Media Tensión (1000 - 66000 VCA): Corresponde a los niveles de tensión utilizados en la distribución eléctrica intermedia, conectando subestaciones a zonas industriales y urbanas.

Ejemplos de uso:

- **4.16 kV, 13.8 kV, 23 kV, 34.5 kV:** Alimentación de grandes fábricas y parques industriales.
- Redes de distribución urbana antes de transformar la electricidad a niveles de baja tensión.
- Suministro eléctrico para hospitales, aeropuertos y centros comerciales de gran tamaño.
- Alumbrado público en autopistas y grandes ciudades.

Muy Alta Tensión (66000 - 400000 VCA)

Se emplea en la transmisión de energía a grandes distancias desde plantas generadoras hasta subestaciones eléctricas, minimizando pérdidas en la red eléctrica.

Ejemplos de uso:

- **115 kV, 230 kV, 400 kV:** Líneas de transmisión de energía entre ciudades y regiones.
- Redes de interconexión eléctrica entre países para el comercio de energía.
- Sistemas de transmisión en hidroeléctricas, parques eólicos y centrales nucleares.
- Alimentación de subestaciones de distribución que reducen el voltaje para su entrega a la red de media tensión.

Generación de Energía

La electricidad no se produce de forma natural en grandes cantidades, por lo que es necesario generarla a partir de diferentes fuentes de energía. Este proceso se lleva a cabo en **centrales eléctricas**, que transforman distintos tipos de energía en electricidad. Generalmente, la energía generada tiene un voltaje relativamente bajo, entre **10 kV y 20 kV**. Para su transporte eficiente, esta tensión debe ser elevada.

Transporte de Energía

Una vez generada, la electricidad debe recorrer grandes distancias hasta llegar a las ciudades e industrias. Para minimizar las pérdidas de energía durante este recorrido, se eleva la tensión a valores muy altos, normalmente hasta **400 kV**.

Esto se logra utilizando **transformadores elevadores**, dispositivos que aumentan la tensión y reducen la corriente, lo que disminuye las pérdidas por calentamiento en los cables (efecto Joule).

Aspectos clave del transporte:

- Se utilizan redes de **alta tensión** para recorrer grandes distancias con mínimas pérdidas.
- La transmisión se realiza en **corriente alterna trifásica**, lo que permite una mayor eficiencia y estabilidad del sistema eléctrico.
- Las líneas de transporte conectan las **subestaciones de generación** con las **subestaciones de distribución**, donde la tensión es reducida para su posterior distribución.

Distribución de Energía

Cuando la electricidad llega a las ciudades o zonas industriales, es necesario reducir la tensión para que pueda ser utilizada

de forma segura por los consumidores. Para ello, se emplean **transformadores reductores de tensión**.

Existen **dos tipos principales de distribución**, según el tipo de cliente y la potencia requerida:

Suministro en Alta Tensión

Este tipo de suministro está destinado a grandes consumidores de energía, como fábricas, hospitales o centros comerciales. Estos clientes reciben electricidad a tensiones de **15 kV, 20 kV o hasta 66 kV**, y cuentan con su propio sistema de transformación para reducir la tensión a **400 V** antes de ser utilizada en sus instalaciones.

Suministro en Baja Tensión

Es el suministro más común, utilizado en viviendas, oficinas, pequeños comercios y talleres. Estos usuarios reciben energía directamente de la compañía eléctrica a **400 V**, sin necesidad de contar con sus propios transformadores.

Consumo de Energía y Regulación del Mercado Eléctrico

Uno de los aspectos clave del sistema eléctrico es que la electricidad no puede almacenarse en grandes cantidades. Por ello, la producción debe ajustarse en tiempo real a la demanda.

¿Cómo se gestiona el equilibrio entre generación y consumo?

- Existen **operadores del mercado eléctrico**, que organizan la compra y venta de energía entre los generadores y las empresas distribuidoras.
- El precio de la electricidad varía constantemente según la oferta y la demanda, estableciendo un mercado competitivo.

Este equilibrio es fundamental para evitar apagones y garantizar que la electricidad esté disponible en todo momento para los consumidores (Figura 1.3).

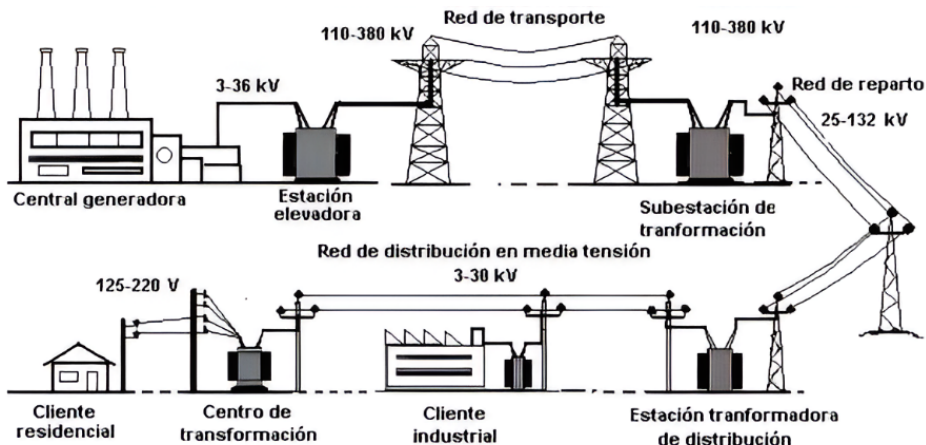


Figura 1.3. Esquema del sistema de distribución eléctrica.

Fuente: Fundación Wikimedia (2025).

La automatización industrial consiste en lograr que máquinas y procesos funcionen de manera autónoma, aplicando principios de la automática mediante sistemas mecánicos, eléctricos, electromecánicos y electrónicos interconectados. Este conjunto de elementos coordinados se denomina automatismos industriales y permite gestionar, controlar y optimizar los procesos productivos, aumentando la eficiencia, la seguridad y la calidad, a la vez que reduce costos y minimiza riesgos laborales. Tradicionalmente, la producción era manual, evolucionando hacia procesos mecanizados y finalmente hacia sistemas automáticos, en los que las máquinas ejecutan las instrucciones diseñadas por los operarios. Actualmente, la automatización ha alcanzado la etapa de procesos automáticos integrados, donde los equipos se comunican entre sí, mejorando la competitividad y la productividad de las industrias.

La lógica cableada, mediante relés y contactores, marcó los primeros pasos de la automatización, aunque con el tiempo su rigidez y los altos costos de mantenimiento generaron la necesidad de sistemas más flexibles, como los controladores lógicos programables (PLC), que permiten reprogramar la lógica de control sin necesidad de recableado físico.

Un sistema industrial automatizado se compone de la red eléctrica, líneas de entrada, cuadros eléctricos, zonas de mando y control, sensores, actuadores y conductores eléctricos, que permiten la transmisión de energía y señales entre los distintos elementos. Los sensores captan información del entorno y del proceso, mientras que los actuadores ejecutan acciones físicas sobre el mismo.

El sistema eléctrico industrial se estructura en cuatro etapas: generación, transporte, distribución y consumo. Según el voltaje, las instalaciones se clasifican en baja tensión, usada en la mayoría de las aplicaciones industriales y residenciales, y alta tensión, destinada a transmisión y distribución a largas distancias. La electricidad debe transportarse de manera eficiente y reducirse antes de llegar a los usuarios, garantizando un suministro seguro y confiable.



CAPÍTULO 2

Componentes básicos para instalaciones eléctricas

2.1. Conductores y cables eléctricos: tipos, características y aplicaciones

Un conductor eléctrico es un elemento fundamental en cualquier instalación eléctrica, ya que son los elementos encargados de transmitir el flujo de electrones y conecta los diferentes componentes de una instalación eléctrica. Debido a la gran variedad de cables y conductores disponibles en el mercado, es importante conocer sus características para elegir el más adecuado según cada necesidad.

- Un **conductor** es un material metálico, comúnmente de cobre o de aluminio, a través del cual circula la corriente eléctrica.
- Un **cable**, en cambio, está compuesto por un conductor recubierto de un material aislante que lo protege y evita el contacto con otros elementos.

Elegir el tipo correcto de conductor o cable es clave para garantizar el buen

funcionamiento y la seguridad de una instalación eléctrica (Figura 2.1).



Figura 2.1. Conductor eléctrico.

Los conductores eléctricos se pueden clasificar según tres aspectos principales:

- Material del que están fabricados
- Estructura interna
- Tipo de aislamiento o recubrimiento

Para que un material funcione como conductor eléctrico, debe tener **alta conductividad**, lo que significa que permite el paso de la corriente con facilidad. Los dos metales más utilizados son:

Conductores de cobre: El cobre es uno de los metales con menor resistividad eléctrica, solo superado por la plata. Debido a sus excelentes propiedades de conducción, la mayoría de los conductores utilizados en instalaciones de baja tensión están hechos de cobre.

Conductores de aluminio: Aunque el aluminio tiene una mayor resistividad eléctrica que el cobre, lo que lo convierte en un conductor menos eficiente, ofrece una mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos y a la rotura. Por esta razón, se emplea principalmente en cables de alta tensión y en algunos cables de baja tensión de mayor sección. En aplicaciones industriales, es común encontrar cables de aluminio utilizados para alimentar maquinaria de alta potencia.

Elegir el material adecuado depende del tipo de instalación y de los requerimientos de eficiencia y seguridad.

Para entender por qué el cobre y el aluminio son los materiales más usados la tabla 2.1 explica la conductividad eléctrica y la resistividad de varios metales

Tabla 2.1. Características técnicas de los principales metales.

Metal	Conductividad Eléctrica (MS/m)	Resistividad (nΩ.m)	Comentarios
Plata (Ag)	63	15.9	Metal con mayor conductividad.
Cobre (Cu)	59.6	16.8	Usado ampliamente en cables y componentes.
Oro (Au)	44.2	22.1	Alta resistencia a la corrosión.
Aluminio (Al)	37.7	26.5	Ligero y económico, utilizado en líneas eléctricas.
Tungsteno (W)	18.9	52.8	Alta resistencia mecánica.
Zinc (Zn)	16.9	59	Se usa en galvanización.
Níquel (Ni)	14.3	69	Buen rendimiento en ambientes corrosivos.
Latón (Cu-Zn)	15 - 25	40 - 80	Aleación de cobre y zinc.
Hierro (Fe)	10	100	Moderada conductividad, pero estructuralmente fuerte.
Estaño (Sn)	9.17	109	Utilizado en soldaduras.
Plomo (Pb)	4.81	208	Baja conductividad.

Acero inoxidable	1.3 - 2.0	500 - 800	Alta resistencia mecánica, baja conductividad.
------------------	-----------	-----------	--

- La conductividad se mide en mega siemens por metro (MS/m).
- La resistividad es el inverso de la conductividad y se expresa en nano ohmios por metro ($n\Omega \cdot m$).
- Los valores pueden variar ligeramente dependiendo de la pureza y temperatura del material.

Dependiendo de la **estructura interna** del material conductor y de la cantidad de hilos o alambres que lo componen, se pueden identificar tres tipos de conductores, rígidos, flexible y extra flexible.

Conductor rígido: Es un cable conformado por un solo conductor grueso (Figura 2.2).



Figura 2.2. Conductor rígido.

Conductor flexible: Es un cable que está conformado por varios cables que están en permanente contacto, la gran cantidad de cables le brinda una mayor deformación (Figura 2.3).

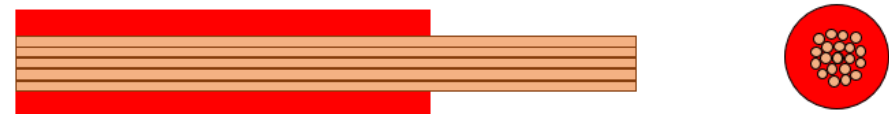


Figura 2.3. Conductor flexible.

Conductor extra flexible: Está compuesto por una cantidad aún mayor de hilos delgados, lo que proporciona al cable una flexibilidad excepcional y una gran resistencia mecánica frente a los golpes (Figura 2.4) (Tabla 2.2).

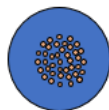
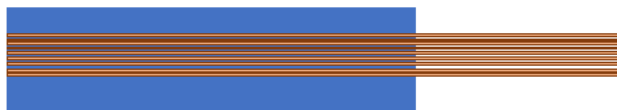


Figura 2.4. Conductor extra flexible.

Tabla 2.2. Características de los tipos de cables según su estructura interna.

Característica	Cable Rígido	Cable Flexible	Cable Extra flexible
Descripción	Conductor sólido o formado por 1 hilos.	Conductor formado por múltiples hilos finos.	Conductor con gran cantidad de hilos muy delgados.
Flexibilidad	Baja	Media	Alta
Durabilidad ante movimientos	Menor resistencia a dobleces repetidos.	Resistente a flexiones moderadas.	Soporta continuos movimientos y flexiones.
Diámetro del conductor	Mayor	Intermedio	Menor
Facilidad de instalación	Difícil de manipular en espacios reducidos.	Fácil de manipular y guiar.	Muy fácil de manejar en espacios complejos.
Uso recomendado	Instalaciones fijas y paneles eléctricos.	Canalizaciones, tableros eléctricos y maquinaria.	Robots, grúas y equipos móviles.

Ejemplos de aplicación	Distribución de energía en edificios.	Motores eléctricos y tableros de control.	Brazos robóticos y ascensores.
	Tendido en muros y techos.	Electrodomésticos y cableado interno.	Herramientas portátiles y cables de extensión.
Ventajas	Alta capacidad de conducción.	Buena relación entre flexibilidad y durabilidad.	Máxima flexibilidad y resistencia mecánica.
Desventajas	Difícil de manipular.	Menor capacidad de corriente que el rígido.	Más costoso y delicado ante daños físicos.
Costo	Bajo	Medio	Alto

Notas:

- **Cable rígido:** Ideal para tramos largos y rectos en instalaciones permanentes.
- **Cable flexible:** Perfecto para circuitos donde se requiera cierta movilidad, pero no constante.
- **Cable extra flexible:** Recomendado para aplicaciones donde el cable debe moverse o doblarse continuamente, evitando roturas.

Finalmente, dependiendo del **tipo de aislamiento** externo, los cables pueden clasificarse en dos tipos:

Conductor desnudo: Este tipo de conductor no tiene ningún aislamiento externo. Solo se debe usar en instalaciones donde se garantice una distancia segura o cuando el conductor esté conectado a tierra (en una instalación de puesta a tierra) (Figura 2.5).

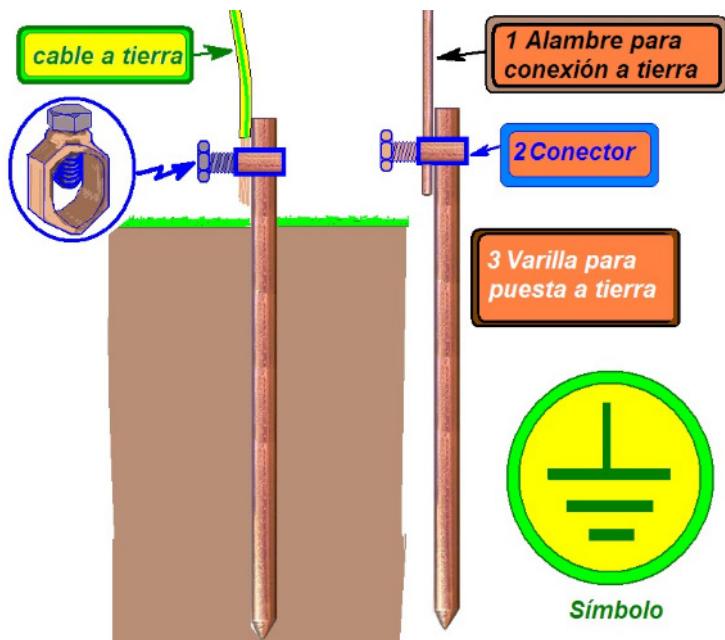


Figura 2.5. Conductor desnudo.

Conductor aislado: En este caso, el conductor está envuelto con uno o varias capas de aislamiento externo, fabricadas con diversos materiales. Esto proporciona al cable propiedades particulares, como la temperatura máxima de funcionamiento, su resistencia al fuego, su capacidad de carga, entre otras (Figura 2.6). Los materiales más utilizados en instalaciones industriales de baja tensión son los siguientes:

- Policloruro de vinilo (PVC).
- Polietileno reticulado (XLPE).
- Etileno-propileno (EPR).
- Etileno-acetato de vinilo.
- Policloropreno.

- Estireno-butadieno.
- Mezclas de poliolefina con baja emisión de humos y gases corrosivos.



Figura 2.6. Conductor aislado.

Las características técnicas que definen a un conductor eléctrico son fundamentales para su identificación y funcionalidad. Cuatro aspectos clave son el color del aislamiento externo, la sección, el agrupamiento y la tensión asignada. El color del aislamiento cumple una función importante al permitir identificar el propósito de cada conductor dentro de una instalación. En este sentido, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece un código de colores específico para cada tipo de conductor, según su uso. La tabla de colores utilizada para cables eléctricos en el control industrial sigue las pautas de la norma IEC 60204-1 (Seguridad de maquinaria – Equipos eléctricos de máquinas), que es una referencia internacional ampliamente adoptada en sistemas de automatización y control industrial (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Código de colores de los conductores según el Norma IEC 60204-1.

Color del Cable		Función/ Propósito	Descripción
Negro		Línea de alimentación (fase)	Cable activo para energía, suele ser para fases L1, L2, L3.
Rojo		Línea de control (fase)	Utilizado en circuitos de control o señalización.
Azul		Neutro	Cable de retorno para el equilibrio del sistema.
Marrón		Línea de control (fase)	Otra opción para fases o circuitos de control.
Amarillo/Verde		Tierra/Protección	Protección a tierra, seguridad contra descargas.
Gris		Línea de control (fase)	Circuitos de comando o señalización.
Blanco		Control interno (neutro o señal)	Para conexiones de neutro o retorno de señal.
Naranja		Interbloqueo o alimentación externa	Indica circuitos alimentados externamente.
Violeta		Control de baja tensión o circuitos específicos	Señales de baja tensión para dispositivos especiales.
Amarillo		Circuitos de control (sin conexión a tierra)	Usado en circuitos sin referencia a tierra.
Rosa		Circuitos de interbloqueo o temporales	Señales temporales o control de sistemas auxiliares.

Nota 1: Los códigos de colores en esta tabla son referenciales, cada país tiene sus propias políticas y normas.

Nota 2: En algunos casos, el aislamiento externo o la cubierta de los conductores eléctricos no sigue el código de colores establecido, por lo que será responsabilidad del instalador identificar cada cable con el color correspondiente durante la instalación. Para realizar esta tarea, generalmente se utiliza cinta aislante.

En Ecuador según la NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción) para instalaciones eléctricas publicada en el 2018, establece el siguiente código de colores (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Código de colores según la NEC para Ecuador.

Código de Colores	
Conductor	Color
Neutro	Blanco
Tierra	Verde, verde con franja amarilla
Fase	Rojo, azul, negro, amarillo o cualquier otro color diferente a neutro y tierra.

La sección de un conductor se refiere al área útil por donde circula el flujo de electrones que constituye la corriente eléctrica. Se simboliza con la letra [S] y se mide en milímetros cuadrados (mm²). A mayor sección de un conductor, mayor será la cantidad de electrones que podrá transportar, lo que significa que podrá soportar una mayor intensidad de corriente. En resumen, se debe seleccionar la sección del conductor según la potencia de los dispositivos que reciban la energía eléctrica y la caída de tensión (Figura 2.7).



Figura 2.7. Sección de un cable conductor.

Los productores de cables no producen cables con cualquier diámetro, más bien siguen secciones estandarizadas, lo que permite unificar criterios y reducir los costos de fabricación. La tabla a continuación resume los calibres de los cables comerciales según AWG (American Wire Gauge) (Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Código de colores de los conductores según el Norma IEC 60204-1.

AWG (Número)	Diá- metro (mm)	Área de sección (mm²)	Corriente máxima (A)	Uso común
0000 (4/0)	11.684	107.2	230	Grandes instalaciones, alta carga
000 (3/0)	10.403	85	200	Instalaciones industriales grandes
00 (2/0)	9.266	67.4	150	Alimentación de equipos industriales
0 (1/0)	8.251	53.5	125	Alimentación de equipos pesados
1	7.348	42.4	100	Instalaciones de alta potencia
2	6.544	33.6	85	Cableado de circuitos de media potencia
3	5.827	26.7	70	Uso general en instalaciones eléctricas
4	5.189	21.2	60	Distribución de energía en casas y comercios
5	4.621	16.8	50	Instalaciones eléctricas generales
6	4.115	13.3	40	Circuitos de baja potencia
7	3.664	10.5	35	Cableado de alumbrado y pequeños dispositivos

8	3.264	8.37	30	Uso en circuitos de baja corriente
9	2.906	6.63	25	Cables de control y señalización
10	2.588	5.26	20	Alimentación de dispositivos pequeños
12	2.053	3.31	16	Instalaciones de bajo voltaje
14	1.628	2.08	15	Cableado de pequeñas cargas
16	1.291	1.31	10	Uso doméstico y pequeño equipo
18	1.024	0.823	7	Circuitos de control, luces y dispositivos pequeños

Las corrientes máximas son aproximadas y pueden variar según las condiciones de instalación y el tipo de aislamiento del cable. Siempre es recomendable consultar las especificaciones del fabricante para obtener datos precisos.

El cálculo de la sección de un cable eléctrico según la corriente que debe transportar se realiza considerando varios factores como la intensidad de corriente (amperios), el material del conductor, la longitud del cable, la caída de tensión permitida y el tipo de instalación (enterrado, aéreo, canalizado, etc.).

Fórmula Básica para Calcular la Sección:

$$S = \frac{I \times L \times 2 \times p}{\Delta V}$$

Donde:

- S: Sección del cable (mm²)

- I: Intensidad de corriente (A)
- L: Longitud del cable (m) (ida y vuelta)
- ρ : Resistividad del material ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
 - **Cobre:** $0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
 - **Aluminio:** $0,0283 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
- ΔV : Caída de tensión permitida (V)

Ejemplo Práctico:

Supongamos:

- Corriente: 40 A
- Longitud total (ida y vuelta): 30 m
- Material: Cobre
- Caída de tensión permitida: 3% (6.9 V en una red de 230 V)

Aplicamos la fórmula:

$$S = \frac{40 \times 30 \times 2 \times 0.0178}{6.9} = 6.19 \text{ mm}^2$$

Buscamos el valor superior más cercano, resultando en **6 mm²** de sección según las tablas normalizadas.

Los conductores eléctricos pueden ser agrupados dentro de un solo cable. Este agrupamiento se refiere a la cantidad de conductores que forman el cable, los cuales pueden ser unipolares (es decir, independientes) o multiconductores (Figura 2.8).

- **Cable unipolar:** Este tipo de cable está compuesto por un único conductor.
- **Cable multiconductor:** Se trata de un cable que contiene dos o más conductores, también conocidos como cables multipolares o mangueras.

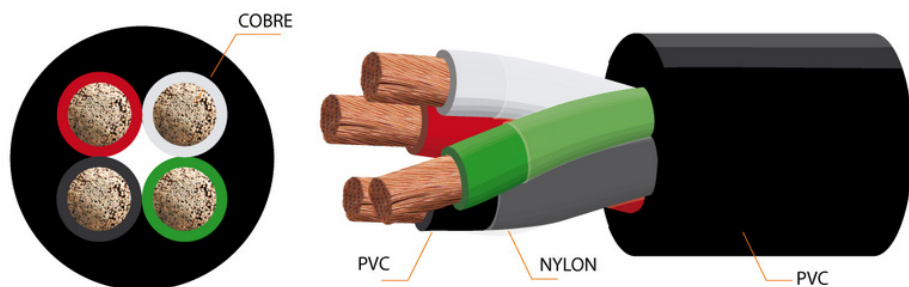


Figura 2.8. Cable multiconductor.

Fuente: Faradayor (2015).

Este cable es diferente al cable flexible, ya que cada conductor se encuentra recubierto individualmente, y el conjunto completo se recubre una vez más dando como resultado un solo cable más grueso.

2.2. Bases y tomacorrientes industriales: tipos, aplicaciones y especificaciones

La base de toma de corriente es un dispositivo que permite conectar distintos equipos eléctricos a la red de energía, suministrándoles el voltaje y la intensidad necesarios para su funcionamiento. Cualquier aparato eléctrico puede enchufarse a una toma de corriente, siempre que sea compatible con sus características eléctricas (Figura 2.9).



Tomacorrientes Domiciliarios

Tomacorrientes Industriales

Figura 2.9. Tipos de tomacorrientes domiciliarios e industriales.

Los tomacorrientes tienen una amplia clasificación y esta es aún mayor ya que también cambian dependiendo del país

Existen diferentes tipos de tomas de corriente según su uso y diseño. Actualmente, los más comunes son los que se detallan a continuación (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Tipos de tomacorrientes industriales: características, aplicaciones y especificaciones eléctricas.

Tipo de Tomacorriente	Descripción	Aplicaciones	Voltaje / Corriente
Monofásico	Diseñado para conectar equipos que funcionan con fase y neutro.	Pequeñas máquinas, herramientas eléctricas.	110V - 250V / 16A - 32A
Trifásico	Dispone de tres fases y puede incluir neutro y tierra.	Motores, maquinaria pesada, industrias.	208V - 600V / 16A - 125A
Con bloqueo mecánico	Incorpora un mecanismo de seguridad que impide la desconexión accidental.	Entornos donde la seguridad es prioritaria.	110V - 600V / 16A - 125A
Hermético (IP44 - IP67)	Protegido contra polvo y agua según el grado de protección IP.	Ambientes húmedos, exteriores, fábricas.	110V - 600V / 16A - 125A
Conector de alta resistencia	Fabricado con materiales robustos para resistir impactos y químicos.	Minería, construcción, industria pesada.	110V - 600V / 16A - 125A
De montaje en panel	Diseñado para ser instalado en tableros eléctricos.	Tableros de control, estaciones de carga.	110V - 600V / 16A - 125A

Empotrable o de superficie	Puede instalarse dentro de una pared o sobre una superficie.	Fábricas, almacenes, talleres.	110V - 600V / 16A - 125A
Con indicadores luminosos	Incorpora luces LED para indicar la presencia de voltaje.	Áreas de monitoreo eléctrico.	110V - 600V / 16A - 125A

Las especificaciones pueden variar según el fabricante y normativas locales. Para garantizar la seguridad, es obligatorio que las bases de enchufe incluyan tapas o mecanismos internos que impidan el acceso directo a los contactos.

2.3. Dispositivos de maniobra y control en sistemas eléctricos

Los interruptores y pulsadores son dispositivos eléctricos utilizados para conectar y desconectar circuitos cuando las condiciones de funcionamiento son normales. Como su activación es manual, requieren la intervención de una persona para operar. Son comunes en los circuitos de control de sistemas automatizados, aunque también pueden emplearse en instalaciones eléctricas de baja potencia dentro de los circuitos de fuerza.

La diferencia entre interruptores y pulsadores radica en su función y en la forma en que operan:

- **Interruptor:** Se usa para abrir o cerrar un circuito de manera permanente, permitiendo o interrumpiendo el paso de la corriente. Existen distintos tipos según su aplicación, como interruptores simples, conmutados, selectores dobles o triples, rotativos, de palanca, de pedal y de tirador (Figura 2.10).

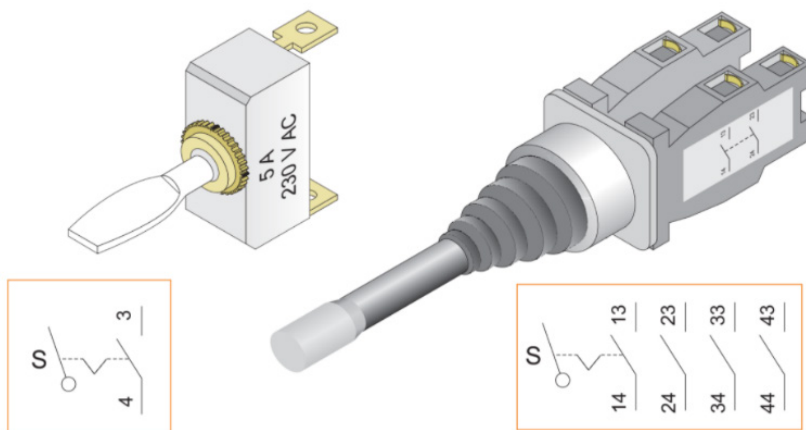


Figura 2.10. Etapas de funcionamiento de un interruptor.

Fuente: Aula eléctrica (2024).

- **Pulsador:** Es un interruptor momentáneo que solo deja pasar la corriente mientras se mantiene presionado. Al soltarlo, vuelve automáticamente a su posición de reposo (Figura 2.11).

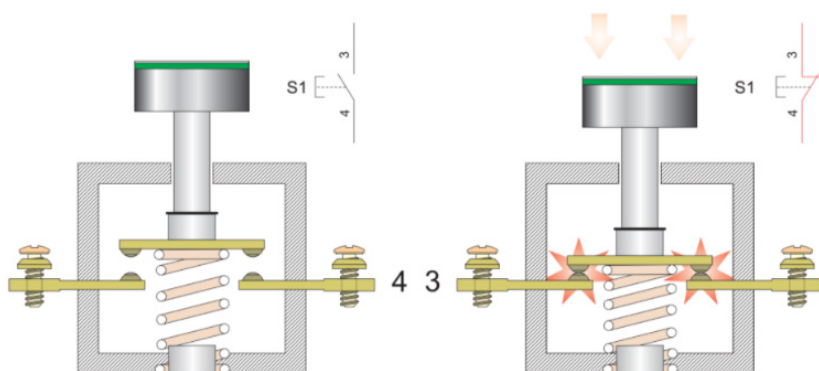


Figura 2.11. Etapas de funcionamiento de un pulsador.

Fuente: Aula eléctrica (2024).

Estos dispositivos pueden ser utilizados tanto en circuitos de potencia como en circuitos de control. En entornos industriales, es habitual encontrar interruptores de corte en carga o interruptores-seccionadores en los paneles secundarios, lo que facilita la desconexión del sistema bajo condiciones normales. Además, se emplean conmutadores y reguladores de potencia, aunque estos son más comunes en circuitos de mando.

Por otra parte, El seccionador es un dispositivo eléctrico diseñado para abrir o cerrar circuitos eléctricos cuando no hay carga conectada. Su propósito principal es garantizar la desconexión segura de un circuito, permitiendo su aislamiento. Las dos funciones esenciales de un seccionador son:

- **Aislamiento del circuito**, proporcionando un alto nivel de seguridad.
- **Corte visible**, asegurando que el circuito está efectivamente desconectado.

Estos dispositivos se emplean principalmente en instalaciones eléctricas de media y alta tensión, donde es crucial mantener una distancia de aislamiento adecuada. Su uso facilita la separación de componentes eléctricos de la red para dejarlos fuera de servicio o para realizar tareas de mantenimiento una manera más segura.

En instalaciones de baja tensión son menos comunes y en muchos casos, vienen integrados en otros dispositivos como por ejemplo fusibles o interruptores de corte en carga.



CAPÍTULO

Introducción al Cadesimu

3.1. Cadesimu como herramienta de simulación en la automatización industrial

El software Cadesimu es una herramienta creada para simular circuitos eléctricos de carácter industrial. Cuenta con una interfaz sencilla e intuitiva lo que facilita su uso incluso para personas sin experiencia previa permitiéndoles diseñar y simular procesos industriales. Es una herramienta ampliamente utilizada en la enseñanza dentro de las carreras de electricidad y electrónica, ya que ofrece una biblioteca con una amplia variedad de componentes industriales como relés, contactores, pulsadores y motores, permitiendo simular su comportamiento antes de la implementación en el mundo real.

Aplicaciones de Cadesimu

- **Procesos Industriales:**
Cadesimu es una herramienta que se ha utilizado para diseñar y automatizar el proceso de laminado en la

producción de piezas automotrices. Esto se logra mediante la creación de diagramas de control eléctrico y la implementación de PLCs para un control más eficiente de la producción (Pérez-Aguilar et al., 2023).

- **Educación y Capacitación:** Dentro del sector educativo, Cadesimu es un software que se emplea para la simulación de comandos e instalaciones eléctricas, permite realizar experimentos prácticos en laboratorios, facilitando la comprensión de los controles eléctricos en motores de corriente alterna (Guimarães, 2018), lo cual es prioritario para estudiantes de ingeniería cuya formación final busca trabajar dentro del sector industrial.

Proceso de Instalación del software

Paso 1: Acceder al sitio de descarga

Abre tu navegador web de preferencia (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge, etc.) (Figura 3.1).

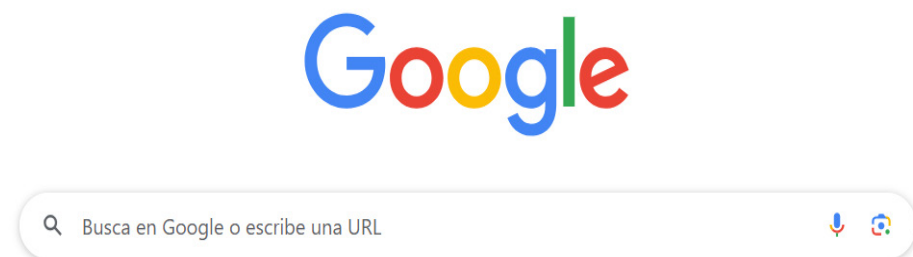


Figura 3.1. Navegador web.

Paso 2: Ir a la página de descarga

En la barra de direcciones, escribe la siguiente URL (Figura 3.2):

👉 <https://masterplc.com/cade-simu/descargar/> y presiona **Enter**.



Figura 3.2. Sitio web para la descarga.

Paso 3: Seleccionar la versión para Windows

En la página de descarga, se presentan diferentes versiones del software para Windows, Mac y Linux. En este caso, selecciona el enlace correspondiente a **Windows** (Figura 3.3).



Figura 3.3. Archivo para la descarga.

Paso 4: Descargar el archivo desde MEGA

Serás redirigido a la plataforma **MEGA**. Una vez allí:

- Ubica y haz clic en el botón **Descargar**.
- Selecciona la opción **Descarga normal** para comenzar la transferencia (Figura 3.4).

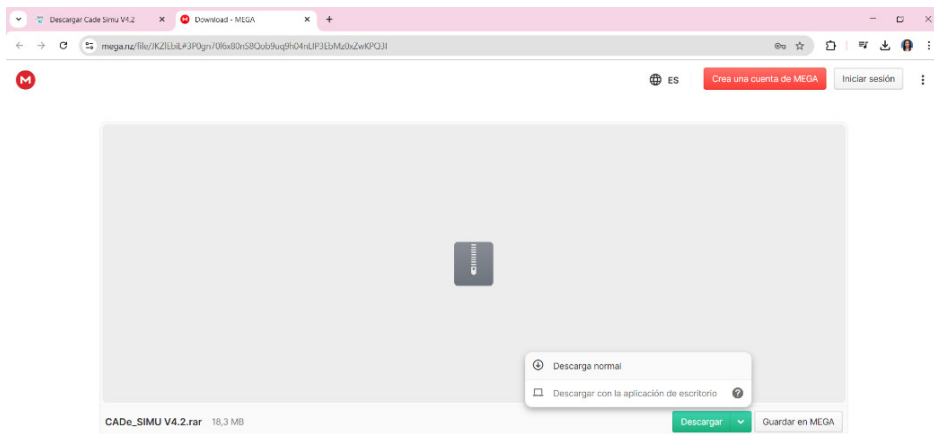


Figura 3.4. Archivo comprimido en extensión [.rar].

Paso 5: Esperar la descarga del archivo

El archivo comenzará a descargarse automáticamente. El tiempo de espera dependerá de la velocidad de tu conexión a internet (Figura 3.5).

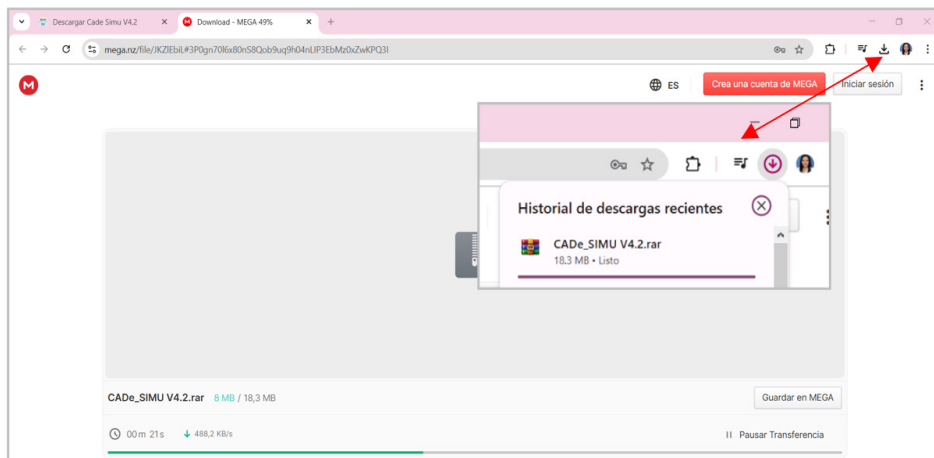


Figura 3.5. Proceso de descarga del archivo.

3.2. Procedimiento de ejecución y reconocimiento de la interfaz de Cadesimu

Paso 1: Extraer los archivos

Una vez completada la descarga, dirígete a la carpeta Descargas en tu equipo. Si el archivo está comprimido en formato .zip, haz clic derecho sobre él y selecciona Extraer aquí (o usa un programa como WinRAR o 7-Zip) (Figura 3.6).

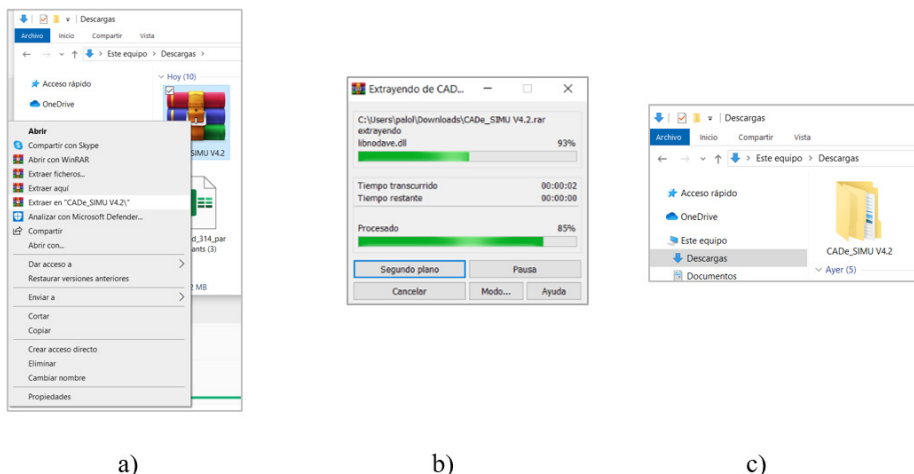


Figura 3.6. Extracción de los archivos de su carpeta comprimida.

Paso 2: Ejecutar el programa

Dentro de la carpeta extraída, busca el archivo **CADE_SIMU_V4.2.exe**.

- Haz **doble clic izquierdo** sobre el archivo para ejecutarlo (Figura 3.7).

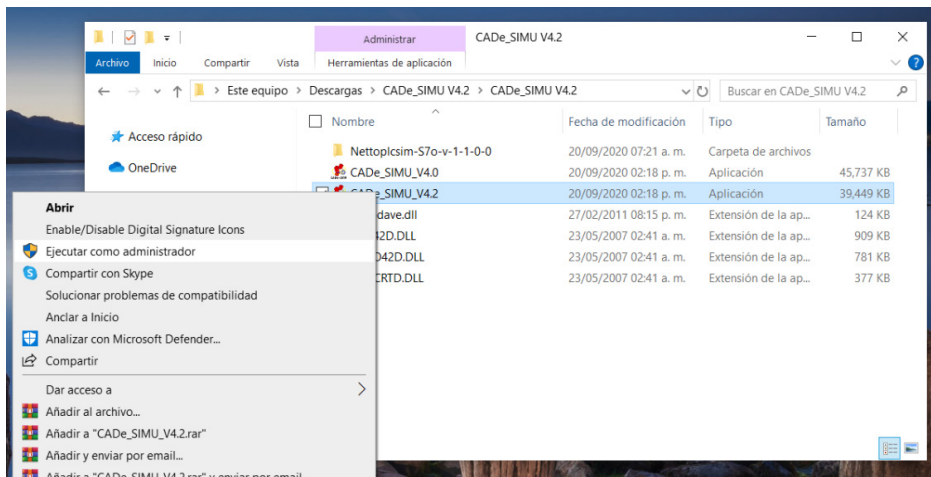


Figura 3.7. Inicio del software.

Paso 3: Ingresar la clave de acceso

Al iniciar el software, se solicitará una clave de acceso (Figura 3.8, 3.9 y 3.10). Ingresa el siguiente código: **4962**

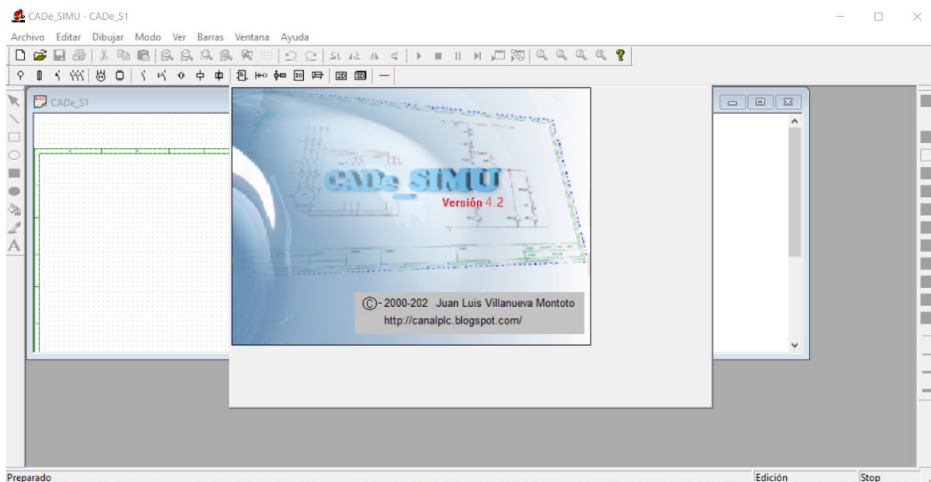


Figura 3.8. Ventana de bienvenida.

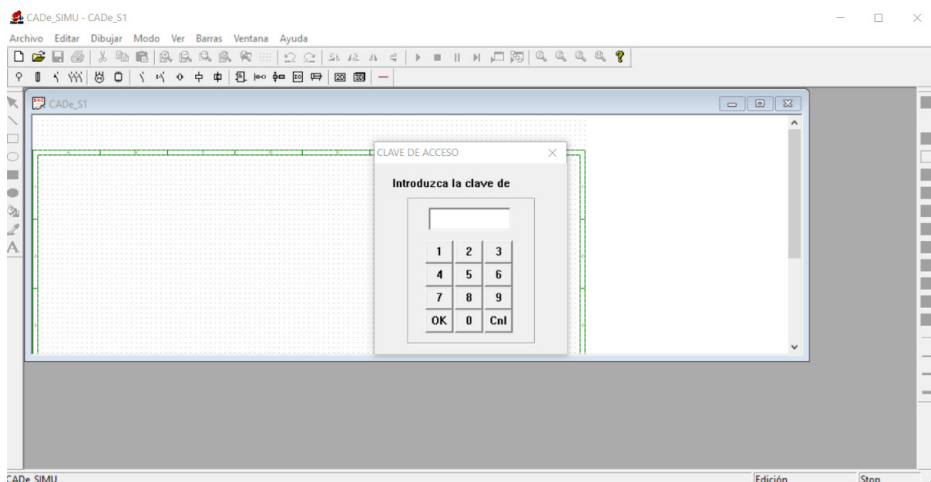


Figura 3.9. Ventana para ingresar clave.



Figura 3.10. Panel de números para ingreso de clave.

Paso 4: Iniciar el uso del programa

Tras ingresar la clave, el software se abrirá automáticamente y estará listo para ser utilizado (Figura 3.11).

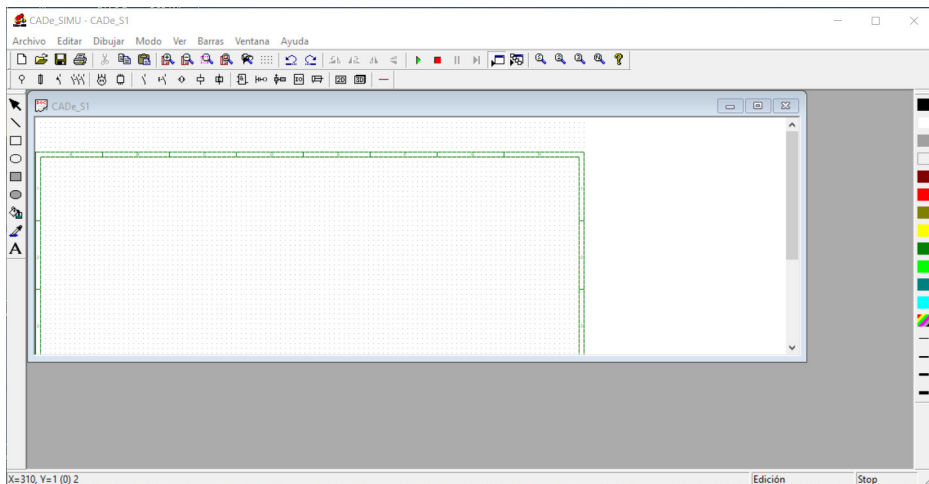


Figura 3.11. Panel de números para ingreso de clave.

1. Interfaz y componentes principales

La interfaz de Cadesimu es intuitiva y está organizada en diferentes secciones que facilitan la creación y simulación de circuitos eléctricos. Cuenta con una barra de herramientas en la parte superior, un área de trabajo central y un panel lateral con una biblioteca de componentes. Su diseño permite una rápida navegación y acceso a las funciones principales del software (Figura 3.12).

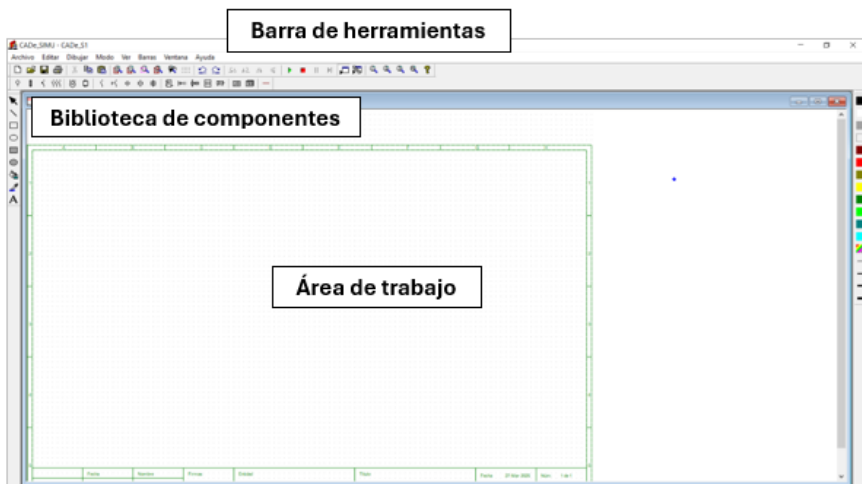


Figura 3.12. Vista general de la interfaz de Cadesimu.

3.3. Barra de herramientas y menús principales del software

Ubicada en la parte superior, la barra de herramientas contiene opciones esenciales como abrir, guardar y exportar proyectos, además de herramientas de edición y configuración. Los menús desplegables permiten acceder a funciones avanzadas de simulación, ajuste de parámetros y personalización de la interfaz (Figura 3.13).



Figura 3.13. Barra de herramientas.

Cadesimu permite realizar simulaciones de circuitos de control y/o de potencia en tiempo real para verificar el funcionamiento y posibles consecuencias dentro de un proceso automatizado, además, los diferentes usuarios pueden activar, pausar o detener la simulación, observar el comportamiento de los componentes individuales y realizar ajustes o cambios si es necesario facilitando la detección de errores y la optimización del diseño antes de su implementación real (Figura 3.14).

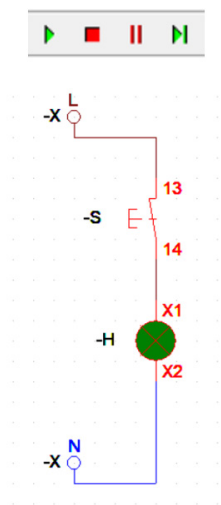


Figura 3.14. Encendido de una luz piloto.

Área de trabajo y edición de circuitos

El área de trabajo es donde se diseñan y editan los esquemas eléctricos, los componentes pueden ser arrastrados, conectados y configurados para formar circuitos funcionales ya que cuenta

Diagrama de cableado para un motor de 3 fases. Se muestran dos circuitos: el Circuito de Potencia y el Circuito de Control.

CIRCUITO DE POTENCIA: Conecta las fases L1, L2 y L3 al motor M a través de un interruptor de fuerza -F0, un contactor -KM y un fusible -M. El motor M está conectado a las fases U1, V1 y W1, con un punto de tierra PE.

CIRCUITO DE CONTROL: Conecta las fases L1, L2 y L3 al control del motor a través de un botón de paro -S0, un botón de marcha -S, un contactor -KM y un fusible -H. El control está conectado a las fases L1, L2 y L3, con un punto de tierra PE.

Este panel lateral contiene una amplia variedad de componentes organizados por categorías, como interruptores, relés, contactores y motores. Los usuarios pueden seleccionar y arrastrar los elementos necesarios al área de trabajo, permitiendo la rápida construcción de circuitos eléctricos y sistemas automatizados (Figura 3.16).



59
Control Industrial con CADESIMU.
Guía para Principiantes

Tabla 3.1. Categoría y componentes disponible para simulación.

Alimentaciones.

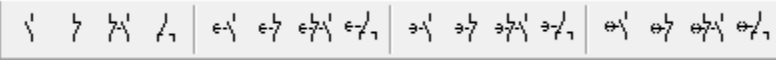
Fusibles, seccionadores.

Automáticos, disyuntores.

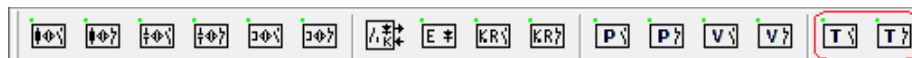
Contactores, interruptores.

Motores.

Potencia.

Contactos.

Accionamiento.


Detectores



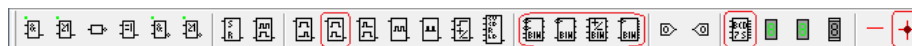
Bobinas, señalizaciones.



Relés electrónicos.



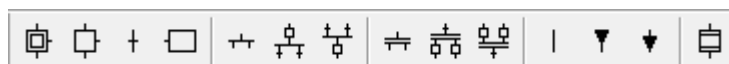
Lógica.



Ladder.



Grafcet.



Entrada/Salida



Electroneumática.



Símbolos imagen 2D



Símbolos imagen 3D



Cables y conexiones.



La estructura de la interfaz de Cadesimu refleja un enfoque de diseño centrado en la eficiencia del usuario y la reducción de errores, promoviendo un flujo de trabajo organizado que facilita la planificación y ejecución de proyectos de automatización. La posibilidad de interactuar con los circuitos en tiempo real sugiere un énfasis en la validación preventiva de diseños, donde la simulación se convierte en una herramienta para anticipar fallos, optimizar secuencias operativas y garantizar la coordinación entre dispositivos antes de su implementación física.

Asimismo, la categorización y disposición de los componentes evidencia la importancia de integrar la teoría con la práctica en un entorno seguro, permitiendo que los usuarios comprendan la relación funcional entre los elementos y su interacción dentro de sistemas complejos. Implícitamente, el software fomenta un enfoque de aprendizaje activo y controlado, donde la experimentación y la supervisión de variables críticas son fundamentales para desarrollar proyectos robustos y confiables, reduciendo riesgos asociados a la manipulación directa de circuitos eléctricos reales.

CAPÍTULO

Dispositivos de maniobra y control industrial

4.1. Contactores y dispositivos de conmutación industrial

Dentro de la rama del **control industrial**, es fundamental contar con dispositivos que permitan conectar y desconectar circuitos eléctricos de manera eficiente y segura y dentro de este grupo, los **contactores y relés industriales** son de los elementos más importantes, ya que facilitan la automatización y el control de equipos eléctricos.

A continuación se explica cómo funcionan estos dispositivos eléctricos, sus principales características y sus aplicaciones en la industria, empezando por los **contactores**, diseñados para manejar cargas de gran potencia, seguido de los **relés industriales**, los cuales son dispositivos más versátiles que permiten controlar señales eléctricas en circuitos de baja potencia y en sistemas automatizados, y finalizando por los temporizadores, elementos de control para determinar una secuencia de

trabajo fija. Además, se analiza los diferentes tipos de contactores, cómo elegir el más adecuado según la aplicación y qué aspectos deben considerarse para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

El **contactor** es un dispositivo diseñado para conectar y desconectar circuitos de potencia, siendo un elemento clave en la mayoría de los sistemas de automatización industrial. Su función principal es controlar el suministro de energía a los equipos eléctricos sin necesidad de intervención directa por parte de un operario.

A diferencia de otros interruptores manuales, el contactor opera de manera automática mediante una **bobina electromagnética** ubicada dentro del circuito de control. Cuando esta bobina recibe corriente, genera un campo magnético que acciona los contactos del dispositivo. Los contactos que normalmente están abiertos (tanto en el circuito de fuerza como en el de control) se cierran, permitiendo el paso de la corriente eléctrica. Al mismo tiempo, los contactos que permanecían cerrados en reposo, generalmente auxiliares, se abren. Este estado se mantiene mientras la bobina siga energizada.

Gracias a su diseño, los **contactores** cumplen un papel fundamental al servir como el enlace entre los circuitos de **potencia** y los circuitos de **control**, facilitando la automatización y el manejo seguro de la energía en instalaciones industriales (Figura 4.1).

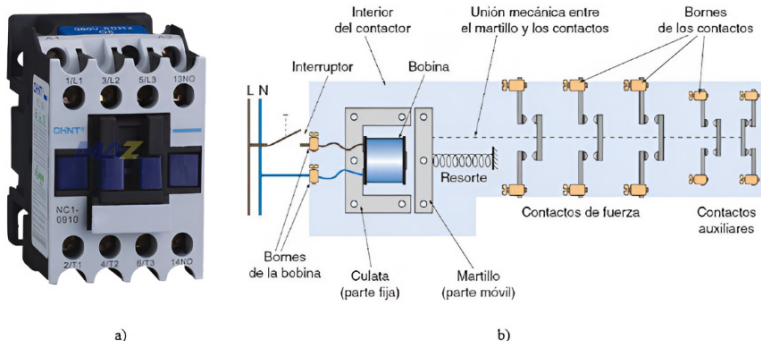


Figura 4.1. Contactor.

Fuente: Asociación Profesional de Empresarios de Instalaciones Eléctricas y Telecomunicaciones de Madrid (2021).

Nota: a) Muestra un contactor comercial, b) Muestra su representación interna

La simbología de un **contactor** en los esquemas eléctricos sigue una representación estandarizada que permite identificar sus partes y su funcionamiento en los circuitos de control y potencia.

Símbolos y elementos principales de un contactor

Bobina (A1 y A2): Representada generalmente por un rectángulo o un óvalo con las letras **A1** y **A2**, que indican los terminales de alimentación de la bobina. Cuando la bobina es energizada, activa los contactos asociados.

Contactos principales (de potencia): Se representan con líneas paralelas que indican su estado:

- **Normalmente abiertos (NA o NO, por sus siglas en inglés Normally Open)** → Se cierran cuando el contactor es activado.
- **Normalmente cerrados (NC, Normally Closed)** → Se abren cuando el contactor es activado (menos común en los contactos principales).

Estos contactos son los encargados de interrumpir o permitir el paso de corriente en el circuito de **fuerza**.

Contactos auxiliares: Funcionan de la misma manera que los contactos principales, pero se utilizan en circuitos de control.

Se identifican con números según la norma IEC:

- **13 y 14** → Contacto normalmente abierto (NA).
- **21 y 22** → Contacto normalmente cerrado (NC).
- **43 y 44, 53 y 54, etc.** → Contactos auxiliares adicionales según el modelo.

Representación gráfica en esquemas eléctricos

La bobina del contactor se dibuja en el **circuito de control**, mientras que los contactos se representan en sus respectivos circuitos (de fuerza o control).

Los contactos del contactor pueden aparecer en diferentes lugares del esquema, pero siempre estarán etiquetados con el mismo número de referencia que la bobina para identificarlos correctamente.

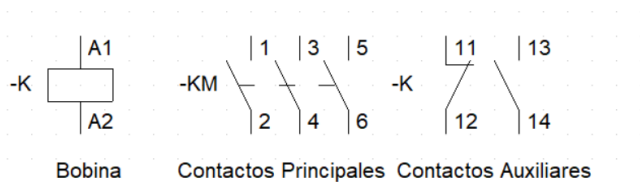


Figura 4.2. Símbolo que representa al contactor en Cadesimu.

Nota: a) Los contactores tienen 3 contactos principales y normalmente 2 contactos auxiliares, pero estos pueden ampliarse.

En todos los contactores, independientemente de la marca, hay información técnica impresa o grabada en su carcasa. Esta información es fundamental para su correcta identificación,

selección e instalación. A continuación, te detallo los principales datos que se encuentran en un contactor:

- **Fabricante:** Indica la marca del contactor (Ej. Schneider Electric, Siemens, ABB, Eaton, LS, entre otras).
- **Modelo o referencia:** Código único que permite identificar sus características específicas.
- **Corriente nominal (I_e o I_{th}):** Expresada en amperios (A), indica la máxima corriente que puede soportar en funcionamiento continuo.
- **Tensión nominal de aislamiento (U_i):** Se expresa en voltios (V) y representa la tensión máxima que soporta el contactor sin riesgo de falla dieléctrica.
- **Tensión nominal de operación (U_e):** Indica la tensión con la que opera normalmente en el circuito de fuerza.
- **Categoría de empleo (AC-1, AC-3, AC-4, DC-1, etc.):** Define el tipo de carga que puede controlar (resistiva, inductiva, motores, etc.).
- **Tensión de la bobina (V AC o DC):** Indica la tensión nominal a la que debe alimentarse la bobina para que el contactor funcione.
- **Frecuencia de operación:** En contactores de corriente alterna (AC), suele indicarse la frecuencia de operación (50/60 Hz).
- **Potencia de la bobina (W o VA):** Es la energía que consume la bobina para activarse.
- **Configuración de contactos auxiliares (NA/NC):** Indica cuántos contactos están normalmente abiertos (NA) o normalmente cerrados (NC). Ejemplo: 1NA+1NC (Un contacto abierto y uno cerrado).

- **Normativas internacionales:** IEC 60947-4-1 (Norma para contactores de baja tensión).: UL, CSA, CE (Certificaciones de seguridad y compatibilidad eléctrica).
- **Grado de protección (IP):** Ejemplo: IP20 (Protección contra contacto con los dedos, sin protección contra agua).
- **Temperatura de operación:** Rango de temperaturas en las que el contactor puede operar sin fallas.
- **Diagrama de conexión:** Representación esquemática de los terminales de fuerza y auxiliares.
- **País de fabricación:** Indica dónde fue fabricado el dispositivo.
- **Código de serie o lote:** Usado para trazabilidad y control de calidad.

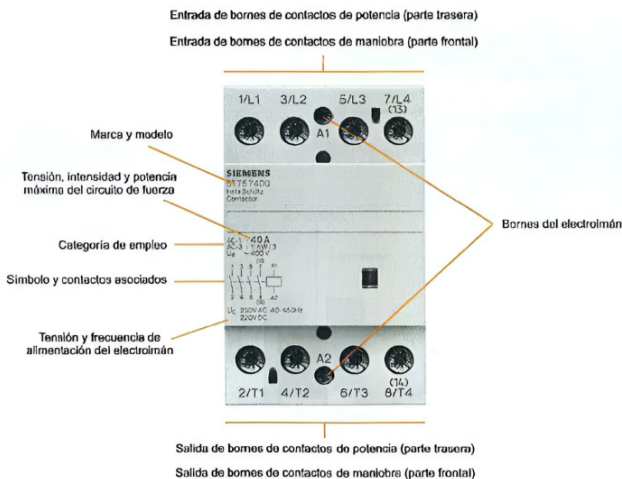


Figura 4.3. Información técnica de un contactor.

Fuente: Rodríguez et al. (2014).

Los contactores (Figura 4.3) se clasifican en dos grupos principales, según el tipo de corriente que alimenta los dispositivos que controlan, ya sea alterna o continua. Además, dentro de cada grupo, existe una subdivisión que clasifica los contactores

en categorías basadas en el tipo de carga que deben manejar. Estas categorías definen los valores de corriente que el contactor debe permitir o interrumpir, considerando tanto el tipo de receptor (como motores o resistencias) como las condiciones en las que se realizan las conexiones y desconexiones (Tabla 4.1 y 4.2).

Tabla 4.1. Categoría de los contactores en corriente alterna.

Catego- ría	Descripción	Aplicaciones Comunes	Ejemplo de Cargas
AC-1	Cargas no inducti- vas o ligeramente inductivas	Calefacción, ilu- minación resisti- va	Resistencias eléc- tricas, lámparas incan- descentes
AC-2	Arranque de moto- res de rotor bobina- do	Motores de rotor de anillos	Motores de gran iner- cia (grúas, elevado- res)
AC-3	Arranque y parada de motores asincró- nicos	Motores de jaula de ardilla	Compresores, bom- bas, ventiladores
AC-4	Arranque, parada y reversión de moto- res	Maniobra de mo- tores por impul- sos	Grúas, ascensores (operación frecuente)
AC-5a	Lámparas de des- carga de gas (con balasto)	Iluminación con balasto	Lámparas fluorescen- tes, descarga de gas
AC-5b	Lámparas incan- descentes	Control de lám- paras resistivas	Lámparas incandes- centes
AC-6a	Transformadores	Alimentación de transformadores	Transformadores de distribución
AC-6b	Lámparas de des- carga de gas	Arranque y con- trol de lámparas	Lámparas de mercurio y sodio

AC-7a	Cargas de uso doméstico y similar	Electrodomésticos y equipos HVAC	Resistencias, ventiladores
AC-7b	Motores fraccionarios en uso doméstico	Pequeños motores eléctricos	Bombas, compresores domésticos
AC-8a	Motores de refrigeración	Compresores de sistemas HVAC	Motores herméticos
AC-8b	Control de compresores herméticos	Compresores de aire acondicionado	Motores de compresores de refrigeración

- **AC-1** es la categoría más simple, adecuada para cargas puramente resistivas o ligeramente inductivas.
- **AC-3** es la más utilizada en la industria para el control de motores, mientras que **AC-4** se emplea para aplicaciones donde se requiere frenado o inversión frecuente.
- Las categorías **AC-5a** y **AC-5b** se centran en aplicaciones de iluminación, y **AC-7** aborda el uso doméstico.
- **AC-8** es clave en sistemas de refrigeración y HVAC.

Tabla 4.2. Categoría de los contactares en corriente continua.

Categoría	Descripción	Aplicaciones Comunes	Ejemplo de Cargas
DC-1	Cargas no inductivas o ligeramente inductivas	Resistencias, calefacción	Resistencias eléctricas, calentadores
DC-2	Motores de corriente continua con frenado dinámico	Motores de imán permanente	Elevadores, transportadores

DC-3	Motores de corriente continua con rotor en serie	Arranque y parada de motores	Grúas, cintas transportadoras
DC-4	Arranque, frenado e inversión frecuente de motores CC	Motores de corriente continua de uso intensivo	Gruas, montacargas
DC-5	Lámparas de descarga en corriente continua	Iluminación especial	Lámparas de arco, alumbrado público en CC
DC-6	Transformadores en corriente continua	Control de transformadores	Transformadores de corriente continua
DC-12	Cargas electrónicas sin protección contra sobrecorriente	Alimentación de equipos electrónicos	Circuitos electrónicos sensibles
DC-13	Electroválvulas y contactores magnéticos	Control de bobinas en CC	Solenoides, contactores, relés
DC-14	Motores de alta potencia en corriente continua	Motores de gran capacidad	Motores industriales pesados

- **DC-1** cubre aplicaciones de cargas resistivas sin efectos inductivos significativos.
- **DC-2 a DC-4** se centran en aplicaciones de control de motores en CC, desde arranque hasta frenado e inversión.
- **DC-5** aborda la conmutación de lámparas especiales.
- **DC-12 y DC-13** se utilizan principalmente en el control de circuitos electrónicos y dispositivos magnéticos (contactores o relés).
- **DC-14** se aplica en motores de alta potencia donde la corriente es considerablemente mayor.

En corriente continua, la conmutación es más compleja debido a la ausencia de un cruce por cero (como ocurre en CA), lo que puede generar más arcos eléctricos durante la apertura de los contactos. Por ello, la selección de la categoría correcta es crucial para garantizar una operación segura y prolongar la vida útil de los dispositivos.

La **posibilidad de conectar y desconectar circuitos eléctricos en carga** se refiere a la capacidad de realizar maniobras de apertura o cierre de circuitos mientras estos están energizados y transportando corriente. Esta operación es común en sistemas industriales y de potencia, pero implica ciertos riesgos y debe realizarse con dispositivos diseñados específicamente para este propósito.

Conceptos Clave:

- 1. Circuito en carga:** Un circuito se considera “en carga” cuando está alimentando un dispositivo o una carga activa, como motores, resistencias, o equipos electrónicos, y hay flujo de corriente.
- 2. Desconexión bajo carga:** Implica abrir un interruptor, contactor o disyuntor mientras el circuito está energizado. Esta acción puede generar arcos eléctricos, especialmente en corriente continua (CC) o en cargas inductivas.
- 3. Conexión bajo carga:** Se refiere a cerrar un interruptor para alimentar un circuito que demanda corriente de inmediato. Dependiendo de la carga, se puede generar una alta corriente de arranque o picos de tensión.

Factores a Considerar:

- **Arco Eléctrico:** Cuando se desconecta un circuito en carga, se produce un arco eléctrico debido a la interrupción del flujo

de corriente. Este arco puede dañar los contactos del interruptor si no se disipa correctamente.

- **Cargas Inductivas y Capacidades de Conmutación:** Las cargas inductivas (como motores) generan picos de voltaje al desconectarse, mientras que las cargas capacitivas pueden provocar corrientes elevadas al conectarse. Los dispositivos de conmutación deben tener capacidad para soportar estas condiciones.
- **Categorías de Conmutación (AC y DC):** Existen categorías específicas (como AC-3, AC-4, DC-3, DC-4) que indican la capacidad del interruptor para operar bajo carga en diferentes condiciones.

Dispositivos Utilizados para Conectar/Desconectar en Carga:

1. **Interruptores Automáticos (Disyuntores):** Diseñados para abrir un circuito bajo carga sin dañarse, protegiendo contra sobrecargas y cortocircuitos.
2. **Contactores:** Usados para la conmutación frecuente de circuitos, especialmente motores. Los contactores de categoría AC-3 y AC-4 pueden abrir y cerrar circuitos con altas corrientes de arranque.
3. **Interruptores Seccionadores Bajo Carga:** Permiten desconectar circuitos bajo carga de forma manual o automática, asegurando un corte seguro mediante mecanismos de extinción de arco.
4. **Relevadores de Estado Sólido (SSR):** Permiten conmutar cargas sin producir arcos eléctricos, ya que no tienen partes móviles.

Beneficios de Conectar/Desconectar en Carga:

- **Continuidad Operativa:** No es necesario detener el sistema para realizar maniobras de conmutación.
- **Seguridad y Protección:** Los dispositivos adecuados evitan arcos peligrosos y protegen a los operadores.
- **Optimización Energética:** Permite gestionar circuitos de forma eficiente, conectando o desconectando cargas según la demanda.

Ejemplos de Aplicación:

- **Industria:** Conmutación de motores en líneas de producción.
- **Energía Renovable:** Desconexión de inversores o bancos de baterías bajo carga.
- **Edificaciones:** Control de iluminación y sistemas HVAC.

Aplicaciones Donde Se Puede Conectar y Desconectar Circuitos en Carga:

1. Control de Motores Industriales:

- **Dispositivos:** Contactores y relés de potencia (categorías AC-3 y AC-4).
- **Ejemplo:** En una línea de producción, los motores se activan y desactivan constantemente. Los contactores permiten controlar el arranque y paro sin interrumpir la operación general.
- **Motivo:** Los contactores están diseñados para soportar arcos eléctricos y corrientes de arranque.

2. Iluminación Industrial y Comercial:

- **Dispositivos:** Interruptores automáticos (AC-5b) y dimmers.

- **Ejemplo:** Desconectar circuitos de lámparas fluorescentes o LED sin apagar todo el sistema eléctrico.
- **Motivo:** Las lámparas de descarga tienen picos de corriente al encenderse, pero los interruptores diseñados para este propósito evitan daños.

3. Sistemas de Calefacción (Resistivos):

- **Dispositivos:** Interruptores automáticos de uso general (AC-1).
- **Ejemplo:** Apagar bancos de resistencias de calefacción o aire acondicionado.
- **Motivo:** Las cargas resistivas no generan picos de corriente significativos, lo que facilita su desconexión.

4. Sistemas de Energía Renovable (Fotovoltaico):

- **Dispositivos:** Seccionadores bajo carga y disyuntores de CC (DC-21).
- **Ejemplo:** Desconectar inversores o bancos de baterías de paneles solares.
- **Motivo:** Los seccionadores están diseñados para cortar la corriente de forma segura, evitando arcos peligrosos.

5. Transformadores de Potencia (Cargas Inductivas Moderadas):

- **Dispositivos:** Interruptores de potencia (AC-6a).
- **Ejemplo:** Conectar o desconectar transformadores en subestaciones eléctricas.
- **Motivo:** Los interruptores especiales controlan el flujo de corriente de forma progresiva.

Aplicaciones Donde NO Se Puede Conectar y Desconectar en Carga (o No Es Recomendable):

1. Desconexión Manual de Motores en Plena Operación (Sin Contactor):
 - **Ejemplo:** Apagar un motor industrial directamente desde un interruptor de cuchilla.
 - **Motivo:** Genera un arco eléctrico peligroso y puede dañar tanto el interruptor como el motor.
2. Desconectar Bancos de Capacitores Bajo Carga:
 - **Ejemplo:** Apagar bancos de capacitores de corrección de factor de potencia mientras están energizados.
 - **Motivo:** Produce picos de corriente muy altos y daños en los contactos, además de riesgo de explosión de capacitores.
3. Circuitos de Alta Potencia en Corriente Continua Sin Dispositivos de Corte Adecuados:
 - **Ejemplo:** Apagar un sistema de baterías de alta capacidad sin usar un seccionador de CC.
 - **Motivo:** En CC, no hay cruce por cero, lo que provoca arcos eléctricos prolongados y difíciles de extinguir.
4. Desconectar Transformadores de Gran Potencia Bajo Carga con Interruptores No Adecuados:
 - **Ejemplo:** Apagar transformadores industriales directamente desde un seccionador básico.
 - **Motivo:** Las cargas inductivas generan sobrevoltajes, lo que puede destruir los contactos y dañar el transformador.
5. Conexión y Desconexión de Lámparas de Arco (Alta Presión) Sin Dispositivos Adecuados:

- **Ejemplo:** Apagar lámparas de sodio o mercurio con interruptores simples.
- **Motivo:** Estas lámparas generan corrientes elevadas y picos de voltaje que dañan los contactos.

Alternativas Para Desconexión Segura:

- **Interruptores de Carga:** Diseñados específicamente para abrir circuitos en carga, mitigando arcos eléctricos.
- **Disyuntores de Potencia:** Capaces de interrumpir grandes corrientes bajo carga con sistemas de extinción de arco.
- **Seccionadores Bajo Carga:** Ideales para cargas inductivas y capacitores, permitiendo desconexión segura.
- **Relevadores de Estado Sólido (SSR):** Permiten conmutación sin partes móviles, evitando arcos eléctricos.

4.2. Relés industriales: funcionamiento y aplicaciones

Un **relé industrial** es un dispositivo electromecánico o de estado sólido utilizado para controlar circuitos eléctricos mediante una señal de baja potencia. Su función principal es actuar como un interruptor automático que permite abrir o cerrar un circuito sin la necesidad de una intervención manual directa (Figura 4.4).

El relé opera con dos circuitos:

1. **Circuito de control:** Es el que activa o desactiva el relé. Generalmente, este circuito trabaja con una corriente y un voltaje más bajos.
2. **Circuito de potencia:** Es el que se controla a través del relé. Puede manejar cargas de mayor potencia, como motores, lámparas o resistencias calefactoras.

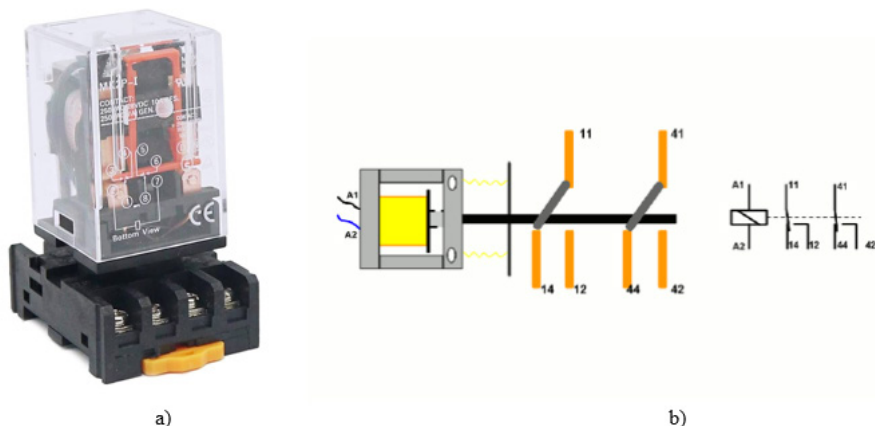


Figura 4.4. Relé industrial.

Fuente: Vaello (2018).

Nota: a) Muestra un relé físico, b) muestra el desgrama interno de funcionamiento.

En los relés electromecánicos, el funcionamiento se basa en una **bobina electromagnética** que, al recibir corriente, genera un campo magnético que acciona un conjunto de contactos móviles. Dependiendo del diseño del relé, estos contactos pueden abrirse o cerrarse, permitiendo o interrumpiendo el paso de corriente en el circuito de potencia (Figura 4.5).

Los **relés de estado sólido (SSR, por sus siglas en inglés)** funcionan sin partes móviles y utilizan semiconductores para realizar la conmutación, ofreciendo mayor velocidad y durabilidad en comparación con los electromecánicos.

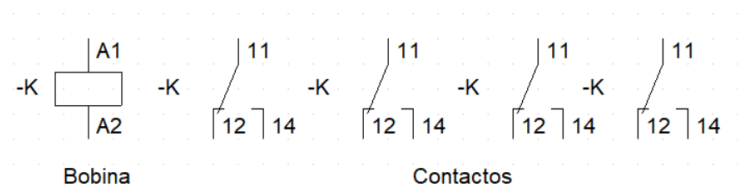


Figura 4.5. Relé industrial, representación en Cadesimu.

Un **contactor industrial**, en cambio, es un tipo especial de relé diseñado para manejar corrientes y voltajes mucho más altos, como los de motores eléctricos o sistemas de iluminación industrial. Son más robustos y pueden soportar cargas más grandes.

Diferencias clave:

1. Capacidad de corriente:

- Relé: Maneja cargas pequeñas (miliamperios hasta algunos amperios).
- Contactor: Diseñado para cargas grandes (decenas o cientos de amperios).

2. Uso principal:

- Relé: Activar señales, luces, alarmas o pequeños motores.
- Contactor: Controlar motores eléctricos, resistencias de calentamiento o sistemas de distribución eléctrica.

Ejemplos de uso:

Relé industrial:

- Enciende una luz cuando se activa un sensor de proximidad.
- Encender y apagar luces en una fábrica.
- Controlar el funcionamiento de válvulas en un sistema de riego.
- Activar alarmas y señales luminosas.

Contactor industrial:

- Enciende y apaga un motor de 20 HP en una fábrica.
- Controlar motores eléctricos de maquinaria industrial.

- Encender y apagar sistemas de iluminación de alta potencia en una nave industrial.
- Conectar y desconectar grandes cargas eléctricas en procesos de producción.

Los *relés industriales* se pueden clasificar según diferentes criterios, como su principio de funcionamiento, la cantidad de contactos, el tipo de carga que manejan, entre otros.

Según su Principio de Funcionamiento

Electromecánicos: Funcionan con una bobina que, al recibir corriente, genera un campo magnético que mueve los contactos. Ejemplo: Relé de propósito general usado en automatización industrial.

Estado Sólido (SSR - Solid State Relay): No tienen partes mecánicas; utilizan semiconductores para la conmutación. Son más rápidos y duraderos. Ejemplo: Control de temperatura en hornos industriales.

Según la Configuración de sus Contactos

- **SPST (Single Pole Single Throw)** → Un solo circuito controlado con un solo estado (encendido o apagado). Ejemplo: Encender una luz de advertencia en un panel de control.
- **SPDT (Single Pole Double Throw)** → Un solo circuito, pero con dos salidas posibles. Ejemplo: Cambiar entre dos luces según el estado de una máquina.
- **DPDT (Double Pole Double Throw)** → Controla dos circuitos con dos salidas posibles. Ejemplo: Inversión de giro en motores pequeños.

Según el Tipo de Señal de Control

- **Relés de Corriente Alterna (AC):** Operan con voltajes como 24V AC, 110V AC o 220V AC. Ejemplo: Control de iluminación en edificios industriales.
- **Relés de Corriente Continua (DC):** Funcionan con voltajes como 5V, 12V, 24V DC. Ejemplo: Automatización con micro-controladores (Arduino, PLCs).

Según su Aplicación Específica

- **Relés de Tiempo:** Activan o desactivan después de un tiempo programado. Ejemplo: Retardo en la activación de una cinta transportadora.
- **Relés de Sobrecarga:** Protegen motores al detectar sobrecorriente. Ejemplo: Protección de motores eléctricos en máquinas industriales.
- **Relés de Seguridad:** Diseñados para aplicaciones donde la seguridad es prioritaria (evitan fallos peligrosos). Ejemplo: Paro de emergencia en robots industriales.
- **Relés de Interfaz:** Conectan señales de bajo voltaje (como sensores) con equipos de mayor potencia. Ejemplo: Comunicación entre sensores de una línea de producción y un PLC.

4.3. Temporizadores en sistemas de automatización

Los **temporizadores industriales** son dispositivos utilizados en sistemas eléctricos y de automatización para controlar el tiempo de activación o desactivación de circuitos. Su uso es común en procesos donde es necesario retrasar el encendido o apagado de equipos, asegurando un funcionamiento eficiente y seguro de los sistemas automatizados (Figura 4.6).



Figura 4.6. Temporizadores.

En los esquemas eléctricos, los temporizadores se representan mediante símbolos que indican su tipo y función. Comprender estos símbolos es clave para su correcta implementación en los circuitos eléctricos.

Temporizador a la Conexión

Este tipo de temporizador **retrasa la activación de la carga** después de recibir una señal de entrada. Una vez transcurrido el tiempo programado, el contacto del temporizador cambia de estado y activa el dispositivo. Se emplea en aplicaciones como el encendido progresivo de motores o el control de iluminación escalonada (Figura 4.7 y 4.8).

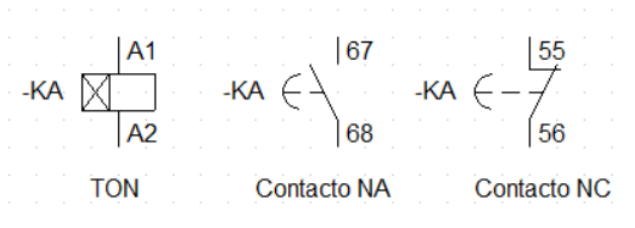


Figura 4.7. Símbolo de temporizador en Cadesimu.

Ejemplo de conexión

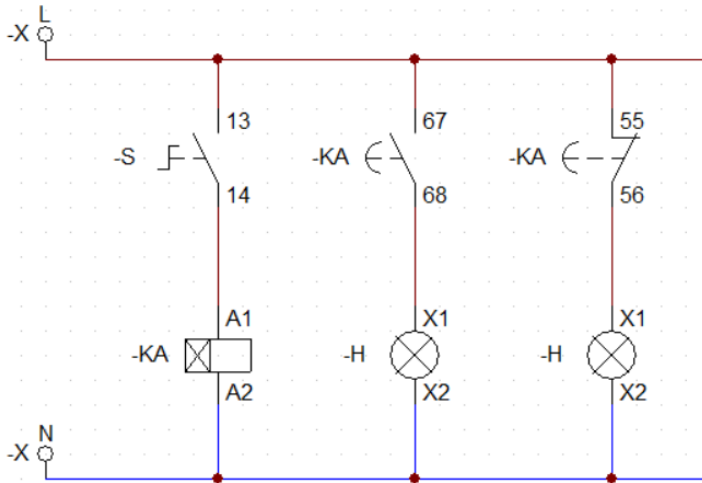


Figura 4.8. Diagrama de conexión de un temporizador TON.

Al presionar el pulsador S y mientras se mantenga la energía el temporizador inicia su cuenta regresiva, al llegar a cero los contactos auxiliares de intercambia posiciones.

Temporizador a la Desconexión

Este tipo de temporizador mantiene la carga activada durante un tiempo determinado **después de que la señal de entrada desaparezca**. Se usa en aplicaciones donde se requiere mantener equipos funcionando por un tiempo extra, como en ventiladores de enfriamiento o retardos en alarmas (Figura 4.9 y 4.10).

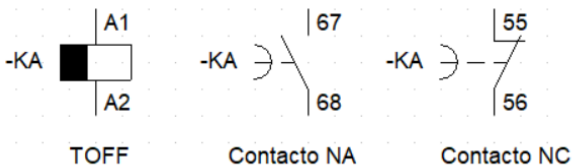


Figura 4.9. Diagrama de conexión de un temporizador TOFF.

Ejemplo de conexión

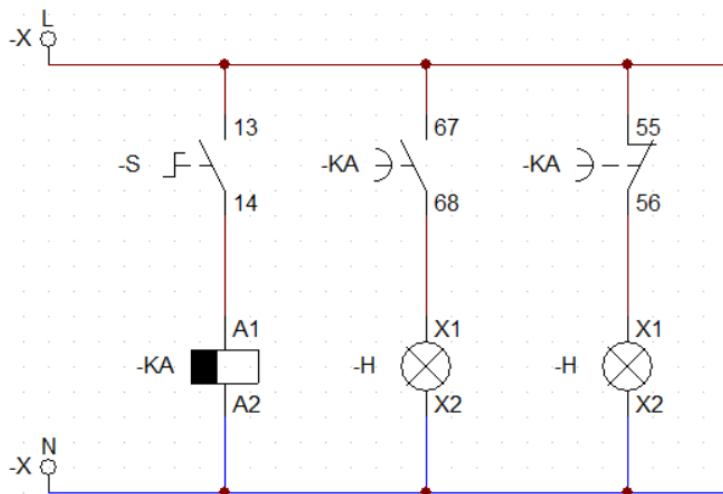


Figura 4.10. Diagrama de conexión de un temporizador TOFF.

Al presionar el pulsador S y después de soltar el pulsador el temporizador inicia su cuenta regresiva, al llegar a cero los contactos auxiliares de intercambia posiciones.

El uso de temporizadores industriales refleja la importancia de introducir control temporal y planificación de secuencias en los sistemas automatizados. Más allá de retrasar encendidos o apagados, estos dispositivos permiten optimizar la coordinación entre distintos elementos del circuito, reduciendo el riesgo de conflictos eléctricos y mejorando la eficiencia operativa.

Su implementación también sugiere una estrategia de prevención de sobrecargas y desgaste de equipos, al controlar la duración de la activación de cargas, lo que prolonga la vida útil de motores, sistemas de iluminación y otros dispositivos críticos. De manera implícita, los temporizadores fomentan un enfoque de diseño de automatización proactivo, en el que la seguridad, la confiabilidad y la optimización energética se consideran desde la fase de planificación del sistema.

CAPÍTULO

Circuitos de lógica cableada y control
industrial



5.1. Representación de los circuitos de automatismos

Los sistemas de automatización basados en lógica cableada siempre requieren que uno o más operarios interactúen con el circuito de control. Al menos, es necesario que alguien inicie el sistema y, en muchos casos, también que lo detenga manualmente. Sin embargo, la principal característica de un automatismo industrial es que, una vez en funcionamiento, no necesita intervención directa sobre los circuitos de potencia para operar con normalidad.

Los esquemas eléctricos de los sistemas de automatización se representan gráficamente en su estado de reposo, es decir, cuando no están activos. En estos diagramas se pueden encontrar dos tipos de contactos:

- **Contactos normalmente abiertos (NO):** En su estado de reposo permanecen abiertos, impidiendo el paso de corriente. Solo se cierran cuando el sistema lo requiere.

- **Contactos normalmente cerrados (NC):** En reposo permanecen cerrados, permitiendo la circulación de corriente. Se abren cuando es necesario interrumpir el flujo eléctrico.

Esta representación facilita la interpretación y el análisis de los circuitos, asegurando una mejor comprensión de su funcionamiento y permitiendo detectar posibles fallas con mayor facilidad (Figura 5.1).

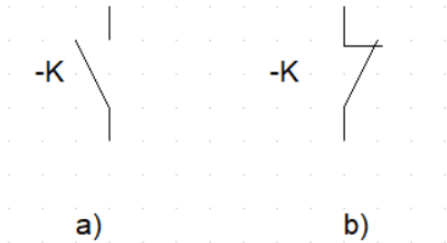


Figura 5.1. Contactos abiertos y cerrados en Cadesimu.

Nota: a) Contacto abierto independiente, b) Contacto cerrado independiente

Mediante **líneas discontinuas**: Las líneas discontinuas se utilizan principalmente en circuitos pequeños o cuando los componentes están ubicados muy cerca unos de otros, ya que en otros casos su uso podría generar confusión (Figura 5.2).

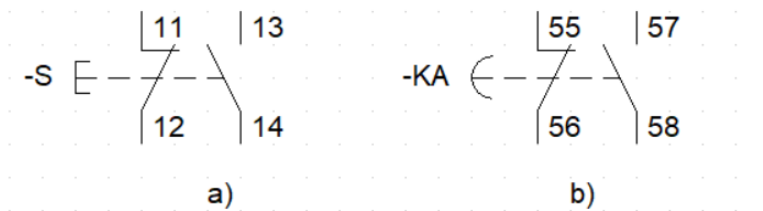


Figura 5.2. Contactos con líneas discontinuas.

Nota: a) Pulsador, b) Contacto de temporizador.

Mediante **código alfanumérico**: El código alfanumérico se emplea para identificar los contactos o elementos relacionados o que forman parte de un mismo dispositivo físico, asignándoles un código común (Figura 5.3).

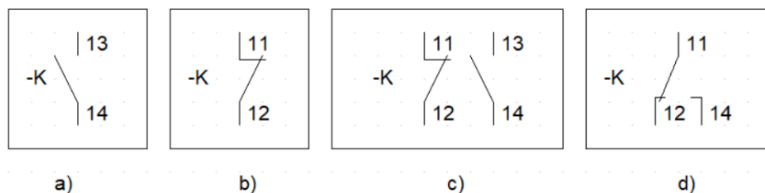


Figura 5.3. Contactos abiertos y cerrados en Cadesimu.

Nota: a) Contacto abierto independiente, b) Contacto cerrado independiente, c) Contacto abierto y cerrado, d) Contacto abierto y cerrado con punto en común.

5.2. Suministro eléctrico para circuitos de potencia y maniobra

Dado que los circuitos de potencia y los de control están diseñados para alimentar distintos tipos de dispositivos, no necesariamente comparten la misma fuente de energía. En el caso de los circuitos de potencia, la alimentación proviene directamente de la red eléctrica principal, dependiendo del tipo de corriente utilizada:

- **Corriente continua:** Se conectan mediante un polo positivo y un polo negativo.
- **Corriente alterna monofásica:** Se alimentan a través de una fase y un neutro.
- **Corriente alterna trifásica:** Utilizan tres fases para su funcionamiento.

Esta separación permite un mejor control de los sistemas eléctricos, garantizando seguridad y eficiencia en la operación de los equipos industriales (Figura 5.4).

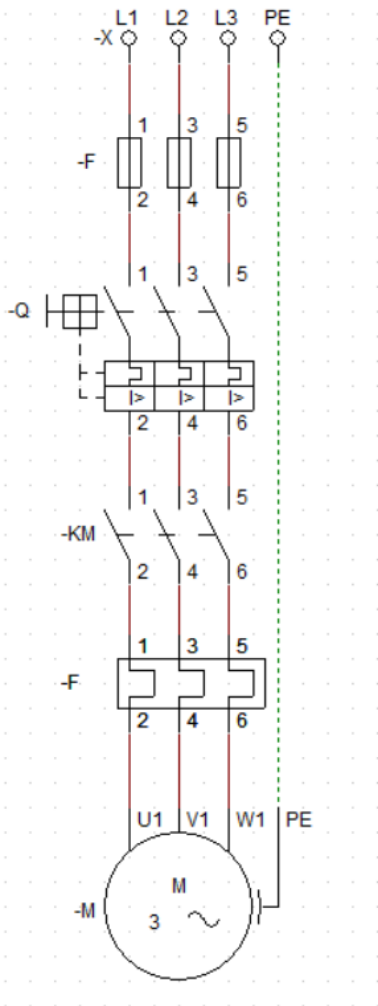


Figura 5.4. Circuito de Potencia.

Los circuitos de **maniobra o control** pueden obtener alimentación (Figura 5.5) de varias fuentes, dependiendo del tipo de dispositivos utilizados:

- En corriente alterna monofásica, directamente desde la **red** eléctrica o reduciendo la tensión mediante un transformador.

- En corriente continua, puede recibir energía de fuentes de 12V o 24V.

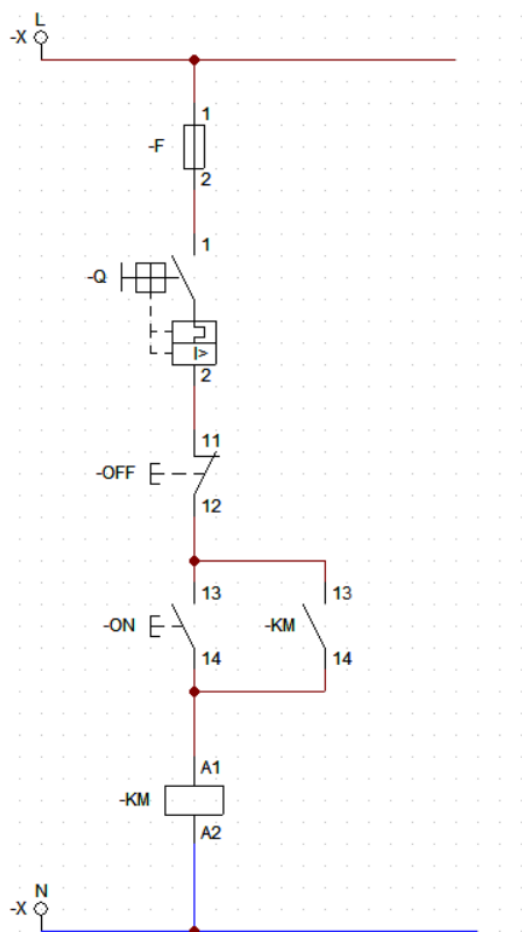


Figura 5.5. Circuito de maniobra o control.

En ciertas instalaciones, es necesario controlar los circuitos de potencia desde varios puntos dentro de la misma planta. Un ejemplo común es cuando los receptores cuentan con circuitos de mando duplicados, uno en la cabina de control principal y otro cerca de la máquina.

En estos casos, la única forma de interactuar con el circuito de maniobra es mediante pulsadores, ya que un interruptor solo puede ser accionado desde un solo lugar. Es fundamental asegurar la correcta conexión de los pulsadores para evitar errores que puedan ocasionar fallos en el sistema (Figura 5.6):

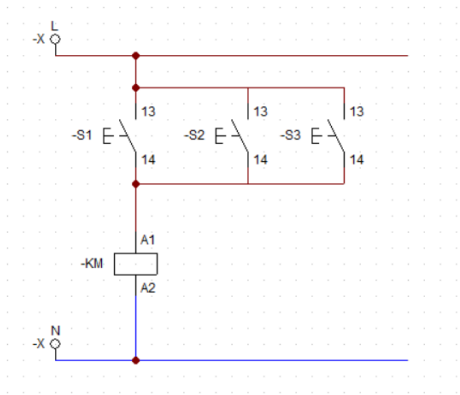


Figura 5.6. Pulsadores en paralelo.

La conexión establece que con cualquiera de los pulsadores S1, S2 o S3, se puede encender el contactor KM (Figura 5.7).

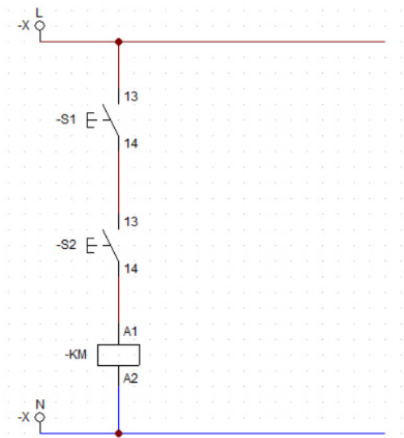


Figura 5.7. Pulsadores en serie.

5.3. Maniobras en los circuitos de automatismos

En los circuitos de automatización que utilizan interruptores, cada acción, como encender, cambiar de marcha o detener, depende de la posición fija del interruptor. Sin embargo, en la mayoría de las instalaciones industriales, se emplean pulsadores para controlar los circuitos de mando. Dependiendo de sus características, los pulsadores pueden funcionar de dos maneras: por pulsos o de forma continua con un contacto de realimentación.

Un pulsador regresa a su posición original cuando se deja de presionar, lo que implica que, en condiciones normales, los circuitos de mando controlados por pulsadores solo se activan de manera momentánea. En estos casos, no es necesario tener un pulsador de paro, ya que el pulsador de marcha interrumpe el circuito automáticamente cuando se deja de presionar.

Dado que los pulsadores permiten un funcionamiento momentáneo del circuito, es necesario un mecanismo que mantenga el circuito activo sin que el operario tenga que seguir presionando. Esto se logra mediante un sistema de **realimentación**.

La realimentación consiste en conectar un contacto auxiliar normalmente abierto del contactor en paralelo al pulsador de marcha. Cuando el pulsador se presiona, la bobina del contactor se energiza, cerrando el contacto auxiliar y permitiendo que la corriente siga fluyendo incluso cuando el pulsador deja de ser presionado. De esta manera, el circuito permanece activo hasta que se presiona un pulsador de paro, el cual interrumpe la corriente y detiene el sistema.

Cuando un contactor está activado, generalmente significa que uno o más dispositivos están funcionando. Sin embargo, en sistemas que emplean pulsadores y realimentación, puede resultar difícil saber si el circuito sigue en marcha, ya que el pulsador vuelve a su estado inicial tras ser presionado.

Para solucionar esto, se suelen instalar **pilotos de señalización** conectados en paralelo a las bobinas de los contactores principales. Estos indicadores luminosos permiten a los operarios visualizar fácilmente si el circuito está activo o detenido, mejorando el control y la seguridad en la instalación (Figura 5.8).

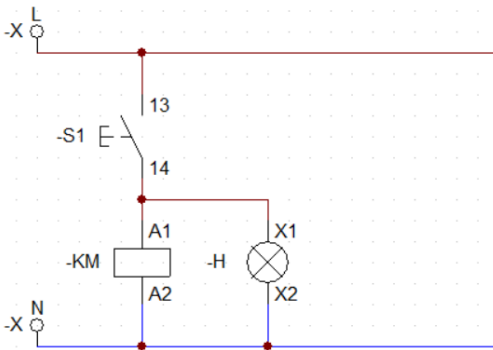


Figura 5.8. Piloto de señalización.

5.4. Sistemas de enclavamiento en circuitos de control

En ciertas situaciones, puede ser necesario impedir temporalmente la activación de un contactor mientras un circuito está en funcionamiento. Esto se debe a que su activación accidental junto con otro contactor podría causar problemas como cortocircuitos entre fases o daños en los dispositivos conectados.

Para evitar estos inconvenientes, se utiliza un **sistema de enclavamiento**, que impide que los contactos de un contactor se cierren si otro dispositivo, generalmente otro contactor, ya está activado.

Existen dos tipos principales de enclavamiento:

- **Enclavamiento mecánico:** Se basa en elementos físicos de bloqueo incorporados en los propios dispositivos, evitando que dos contactores puedan activarse simultáneamente.

- **Enclavamiento eléctrico:** Se implementa mediante contactos auxiliares **normalmente cerrados (NC)** de un contactor conectados en serie con el dispositivo que se desea bloquear. Cuando un contactor se activa, su contacto auxiliar abre el circuito del otro, evitando su activación mientras el primero siga en funcionamiento.

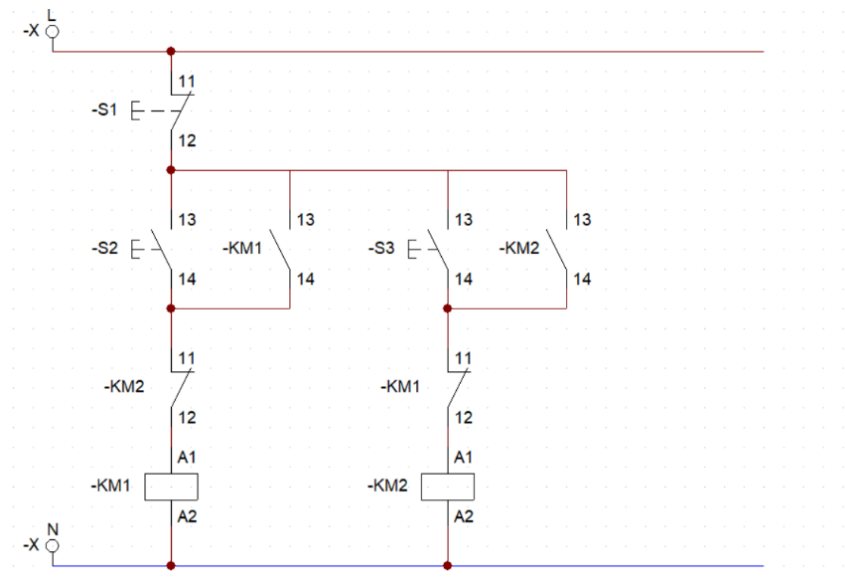


Figura 5.9. Circuito de enclavamiento.

El circuito es básico (Figura 5.9) al momento de empezar con la automatización de componentes, se recomienda analizar cuidadosamente al momento de realizar la simulación.

Ejemplo Práctico

El siguiente ejemplo consiste en encender y apagar una luz piloto usando el mismo pulsador, usando las conexiones del circuito de enclavamiento (Figura 5.10).

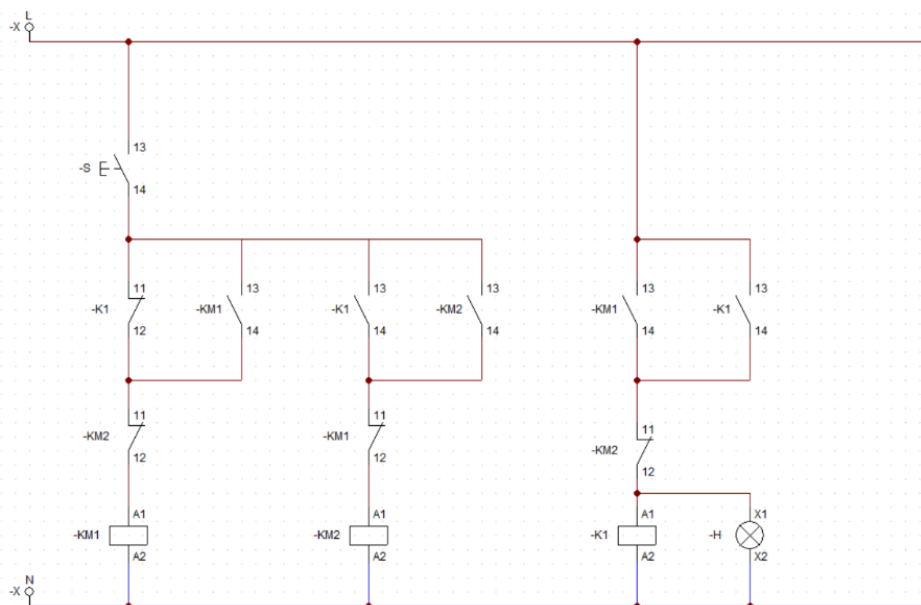


Figura 5.10. Ejemplo para encender y apagar una luz con el mismo pulsador.

Los sistemas de enclavamiento reflejan la necesidad de diseñar estrategias preventivas en la automatización industrial, más allá de la simple protección de contactores. Su implementación implica un análisis previo de secuencias operativas y riesgos asociados a maniobras simultáneas, fomentando la planificación de circuitos confiables y eficientes.

Además, estos mecanismos destacan la importancia de la coordinación de señales entre distintos dispositivos, subrayando que la seguridad eléctrica y la integridad de los equipos dependen tanto de la lógica de control como del mantenimiento y supervisión de los sistemas. La existencia de alternativas mecánicas y eléctricas también sugiere que la selección de un tipo de enclavamiento debe considerar factores como velocidad de actuación, facilidad de integración y condiciones de operación específicas de cada instalación.



CAPÍTULO

Dispositivos de protección eléctrica y
estrategias de seguridad en instalaciones

6.1. Problemas comunes en las instalaciones eléctricas

En cualquier sistema de control industrial, la seguridad y la confiabilidad de las instalaciones eléctricas son aspectos fundamentales. Los dispositivos de protección juegan un papel crucial en la prevención de fallos, la protección de los equipos y la seguridad de los operarios. Sin ellos, los circuitos eléctricos quedarían expuestos a riesgos como sobrecargas, cortocircuitos y fallas a tierra, que pueden provocar daños severos en la maquinaria y generar peligros potenciales para las personas.

En este capítulo, se explorarán los principales dispositivos de protección utilizados en la industria, como fusibles, interruptores automáticos, relés térmicos y diferenciales. Además, se abordarán algunos de los defectos más comunes en las instalaciones eléctricas, sus causas y las medidas necesarias para prevenirlos. Conocer y comprender estos

elementos es esencial para diseñar y mantener sistemas eléctricos seguros y eficientes en entornos industriales.

Las instalaciones eléctricas pueden verse afectadas por diferentes fallos que alteran su funcionamiento normal, generalmente relacionados con variaciones en la corriente y el voltaje. Estos problemas pueden generar diversas consecuencias, entre ellas:

- Sobrecalentamiento de materiales y equipos.
- Riesgo de incendio.
- Daño o deterioro de dispositivos eléctricos.
- Cortes inesperados en el suministro eléctrico.
- Mal funcionamiento de los equipos conectados a la red.

Dentro de los fallos más frecuentes en las instalaciones eléctricas se encuentran las **sobretensiones, subtensiones y sobreintensidades**, cada una con sus propias características y efectos.

Sobretensiones

Las sobretensiones ocurren cuando el voltaje en la instalación supera el nivel nominal de operación. Esto puede suceder en cuestión de milisegundos, pero, aun así, es suficiente para dañar equipos que no están diseñados para soportar esos picos de tensión.

Existen tres tipos principales de sobretensiones:

- **Sobretensiones de origen atmosférico:** Son causadas por descargas directas de rayos sobre la instalación. Suelen tener una amplitud muy alta y pueden alcanzar frecuencias del orden de los megahercios.
- **Sobretensiones por maniobra:** Se producen debido a conmutaciones en la red eléctrica, defectos en el sistema, o

incluso por descargas indirectas de rayos cercanos. Estas generan oscilaciones que pueden alcanzar frecuencias de decenas o cientos de kilohercios.

- **Sobretensiones de frecuencia industrial:** Se deben a fallos en el conductor neutro o problemas de aislamiento con respecto a tierra. Su frecuencia es la misma que la de la red eléctrica, pero con una amplitud de tensión que puede ser hasta 1.73 veces mayor que la nominal.

Subtensiones

Las subtensiones ocurren cuando el voltaje en la instalación cae por debajo del valor nominal o incluso llega a cero (falta total de tensión). Aunque este problema no suele dañar directamente los equipos eléctricos, puede hacer que estos funcionen de manera ineficiente o se apaguen repentinamente.

Sobreintensidades

Una sobreintensidad ocurre cuando la corriente que circula por un circuito supera su nivel normal de operación. Dependiendo de su origen, puede clasificarse en dos tipos:

Sobrecarga: Se trata de un aumento moderado en la corriente, pero sostenido en el tiempo. Esto provoca un **sobrecalentamiento** en los conductores y componentes eléctricos. Suele ocurrir cuando la instalación está mal dimensionada o cuando los motores y transformadores trabajan por encima de su capacidad nominal.

Cortocircuito: Es un aumento repentino y extremadamente alto de la corriente, que puede alcanzar decenas de kiloamperios en menos de un segundo. Los cortocircuitos suelen ocurrir por contacto directo entre conductores o entre un conductor y tierra, generando una sobreintensidad de tipo magnético.

Para evitar problemas de sobrecalentamiento y garantizar la seguridad de la instalación, es fundamental asegurarse de que la corriente nominal de un circuito sea:

- Inferior a la capacidad máxima de los conductores.
- Inferior al calibre del dispositivo de protección (fusibles o interruptores automáticos).

Si estos valores no están bien equilibrados, la instalación puede sufrir daños y riesgos innecesarios.

$$I_{\text{NOMINAL DEL CIRCUITO}} < I_{\text{DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN}} < I_{\text{MÁXIMA ADMISIBLE DEL CONDUCTOR}}$$

Ejemplo:

Control de un motor trifásico de 10 HP (7.5 kW) a 400 V, con un factor de potencia de 0.85 y una eficiencia del 90%. Se utilizará un contactor y un relé térmico para protección contra sobrecargas.

- **Corriente nominal del motor:** 13.72 A Cuando un motor se mueve en operación nominal, significa que está funcionando dentro de los parámetros eléctricos y mecánicos para los cuales fue diseñado, específicamente.
- **Corriente del dispositivo de protección:** 16 A.
- **Corriente máxima admisible del conductor:** 25 A.

6.2. Dispositivos y estrategias de protección en instalaciones eléctricas

Para elegir los dispositivos de protección adecuados en una instalación eléctrica, es esencial tener en cuenta las características de los receptores, el circuito de alimentación, el entorno y el lugar de instalación. También es importante definir las propiedades de los equipos en función de las cargas y las corrientes de cortocircuito, aplicando los principios de filiación y selectividad.

La selección del tipo de protección contra contactos directos e indirectos también dependerá del esquema de distribución del neutro y las masas que alimentan la instalación. A continuación, se detallarán los principales dispositivos de protección utilizados en las instalaciones eléctricas industriales y su función específica, los cuales han sido resumidos previamente en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Resumen de elementos de protección.

Dispositivos de protección	Protección que ofrece			
	Protección de la instalación eléctrica			Protección de personas y animales
	Cortocircuito	Sobrecarga	Sobreten-siones	
Fusible				
Relé Térmico				
Interruptor automático				
Limitador de sobretensiones				
Interruptor diferencial				

Para analizar los distintos componentes encargados de la protección en una instalación eléctrica, es fundamental comprender algunos conceptos clave relacionados con su funcionamiento.

- **Corte omnipolar:** Se refiere a la apertura de todos los conductores activos de un circuito, incluyendo las tres fases y el neutro si está presente. Este corte puede realizarse de manera simultánea o no simultánea.
- **Poder de corte:** Indica la máxima corriente, medida en amperios (A) o kiloamperios (kA), que un dispositivo de protección

puede interrumpir de manera segura tras desconectar el circuito, evitando la formación de un arco eléctrico entre sus contactos.

6.3. Fusibles: funcionamiento, características y diagrama intensidad/tiempo

El cortacircuitos fusible, comúnmente conocido como fusible, es uno de los dispositivos de protección más antiguos en los circuitos eléctricos (Figura 6.1).

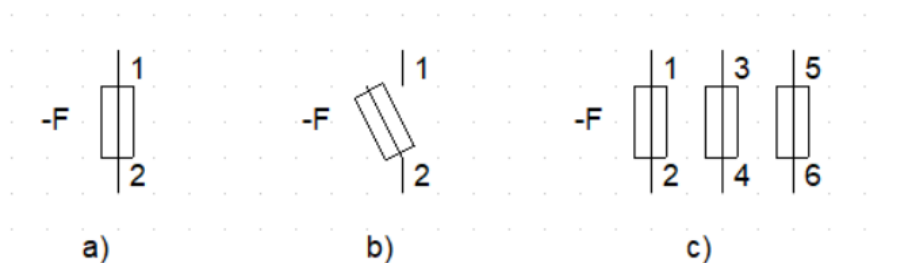


Figura 6.1. Símbolo de fusibles en Cadesimu.

Nota: a) Fusible cerrado, permite el paso de energía, b) Fusible abierto, c) Fusible para cargas trifásicas.

Su funcionamiento se basa en un conductor interno, generalmente una aleación de estaño, cobre o zinc, que puede soportar un determinado nivel de corriente. Si la corriente excede este límite, el material se funde, interrumpiendo el circuito y evitando daños en otros componentes o en el cableado (Figura 6.2).



Figura 6.2. Ejemplo para encender y apagar una luz con el mismo pulsador.

Fuente: Kombitec (2021).

Dado que el fusible se destruye cada vez que actúa, es necesario reemplazarlo para restablecer el funcionamiento del circuito, lo que en ciertos entornos industriales puede afectar la continuidad de los procesos. Para facilitar el mantenimiento, algunos fusibles incorporan un percutor que indica visualmente cuándo han sido activados. Los fusibles se instalan en los circuitos mediante bases portafusibles, cuyo diseño y sistema de apertura varían según el tipo de fusible utilizado (Figura 6.3).



Figura 6.3. Diferentes tipos de portafusibles.

Fuente: Transmexicana (2025).

Los valores característicos asociados a los fusibles de baja tensión quedan definidos por los siguientes parámetros mostrados en la Figura 6.4.

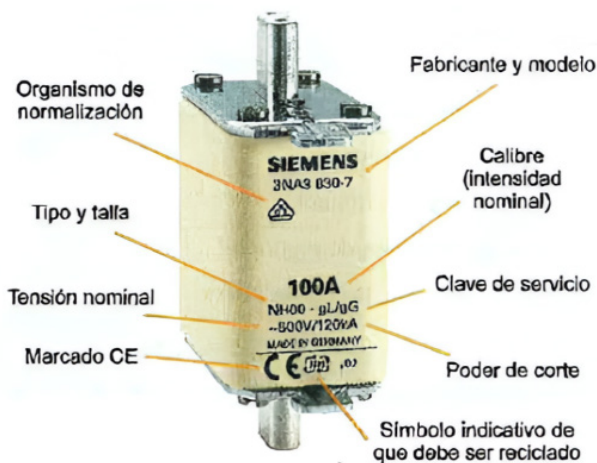


Figura 6.4. Características del Fusible.

Fuente: Rodríguez et al. (2014).

Diagrama de la característica intensidad/tiempo de un fusible

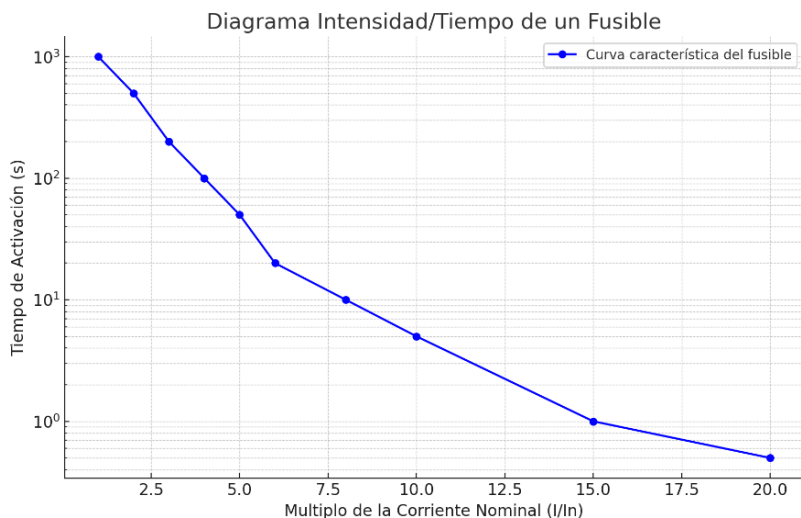


Figura 6.5. Diagrama de intensidad/tiempo de un fusible.

Nota:

Eje X (Intensidad): Representa el múltiplo de la corriente nominal (I/I_n). A medida que la corriente aumenta más allá del valor nominal, el fusible responde más rápido.

Eje Y (Tiempo): Indica el tiempo en segundos que tarda el fusible en activarse (fundirse) para un determinado nivel de sobrecorriente.

Forma de la Curva: A mayor intensidad de corriente, menor es el tiempo de respuesta del fusible, lo que protege el circuito de sobrecargas y cortocircuitos.

Interpretación del Gráfico:

Eje X (Intensidad): Representa el múltiplo de la corriente nominal (I/I_n). A medida que la corriente aumenta más allá del valor nominal, el fusible responde más rápido.

Eje Y (Tiempo): Indica el tiempo en segundos que tarda el fusible en activarse (fundirse) para un determinado nivel de sobrecorriente.

Forma de la Curva: A mayor intensidad de corriente, menor es el tiempo de respuesta del fusible, lo que protege el circuito de sobrecargas y cortocircuitos.

Eje Horizontal (X): Múltiplo de la Corriente Nominal (I/I_n)

- **Corriente Nominal (I_n):** Es la corriente para la cual el fusible está diseñado (por ejemplo, 10 A).
- **Múltiplo de I_n :** Muestra cuántas veces se está superando esa corriente.
 - **1x I_n :** El fusible no se funde porque está en condiciones normales.
 - **2x I_n :** La corriente es el doble de la nominal.
 - **5x I_n o más:** La corriente es 5 veces mayor, indicando una sobrecarga o cortocircuito grave.

Eje Vertical (Y): Tiempo de Respuesta (en segundos)

- Muestra el **tiempo que tarda el fusible en desconectar el circuito** cuando hay una sobrecorriente.
- Se usa una **escala logarítmica** porque los tiempos pueden variar desde milisegundos hasta varios segundos.

Relación entre Corriente y Tiempo:

1. Cerca de la Corriente Nominal ($1-2 \times I_n$):
 - El fusible puede tardar mucho tiempo en fundirse (hasta 1000 segundos o más).

- Esto es normal, ya que pequeñas sobrecargas no son peligrosas a corto plazo.

2. Aumento Moderado ($3-5 \times I_n$):

- El fusible se funde más rápido (entre 50 y 5 segundos).
- Esto protege el circuito de sobrecargas sostenidas que podrían dañar los equipos.

3. Sobrecarga Grave o Cortocircuito ($8-20 \times I_n$):

- El fusible actúa casi de inmediato (en menos de 1 segundo).
- Aquí es donde entra la **protección crítica**, evitando incendios o daños severos.

Ejemplo Práctico:

Supongamos que tienes un fusible de **10 A**:

- **Si pasa 10 A ($1 \times I_n$):** No pasa nada, el fusible está en condiciones normales.
- **Si pasan 20 A ($2 \times I_n$):** Puede tardar varios minutos en fundirse.
- **Si pasan 50 A ($5 \times I_n$):** Se fundirá en segundos.
- **Si hay un cortocircuito de 150 A ($15 \times I_n$):** El fusible actuará en milisegundos.

La Figura 6.5 muestra el diagrama intensidad/tiempo de un fusible, una herramienta fundamental para comprender cómo responde este dispositivo ante corrientes superiores a su corriente nominal. En el eje horizontal (X) se representa el múltiplo de la corriente nominal del fusible (I/I_n), mientras que en el eje vertical (Y) se indica el tiempo, en segundos, que tarda el fusible en fundirse y desconectar el circuito. Este diagrama permite predecir el comportamiento del fusible ante sobrecargas y cortocircuitos,

garantizando la protección de los equipos eléctricos y la seguridad de la instalación.

La curva del gráfico tiene una pendiente negativa, lo que indica que a mayor corriente, menor es el tiempo de respuesta del fusible. Esto significa que ante pequeñas sobrecargas cercanas a la corriente nominal, el fusible puede tardar varios minutos en fundirse, mientras que ante sobrecargas moderadas actúa en segundos. En el caso de cortocircuitos graves, el fusible se funde casi instantáneamente, protegiendo de manera crítica el circuito y los dispositivos conectados.

El eje horizontal del diagrama permite identificar diferentes niveles de sobrecorriente. Por ejemplo, un valor de $1 \times I_n$ corresponde a la corriente nominal, donde el fusible no se funde, indicando condiciones normales de operación. Un valor de $2 \times I_n$ representa el doble de la corriente nominal, lo que produce un fundido lento, adecuado para cargas que se exceden temporalmente sin ser peligrosas. Por encima de $5 \times I_n$, la sobrecorriente es significativa, y el fusible actuará en cuestión de segundos para proteger el circuito.

En el eje vertical se observa el tiempo que tarda el fusible en desconectar el circuito. Se utiliza una escala logarítmica para representar de manera clara tiempos que varían desde milisegundos hasta varios miles de segundos. Esta escala permite comprender cómo un mismo fusible puede soportar pequeñas sobrecargas prolongadas, mientras que responde rápidamente ante cortocircuitos, evitando daños graves a los equipos y posibles riesgos de incendio.

Por ejemplo, un fusible con corriente nominal de 10 A no se funde si circula una corriente de 10 A ($1 \times I_n$). Si la corriente aumenta a 20 A ($2 \times I_n$), el fusible puede tardar varios minutos en actuar. Con 50 A ($5 \times I_n$), el fundido ocurre en pocos segundos, y si se produce un cortocircuito de 150 A ($15 \times I_n$), el fusible actúa en milisegundos, protegiendo de manera inmediata la instalación eléctrica.

El diagrama intensidad/tiempo es esencial para seleccionar el fusible adecuado, ya que permite garantizar que pequeñas sobrecargas temporales no interrumpan el funcionamiento normal, mientras que las sobrecargas graves o cortocircuitos se interrumpen de manera rápida y segura, asegurando la protección de los equipos y la continuidad del sistema eléctrico.

6.4. Relé térmico: funcionamiento, conexiones y aplicaciones en protección de motores

El relé térmico es un dispositivo de protección especialmente diseñado para activarse ante sobrecargas en instalaciones eléctricas, siendo especialmente utilizado en circuitos que alimentan motores (Figura 6.6).



Figura 6.6. Relé Térmico.

Fuente: Electrotec (2025).

La figura 6.7 muestra cómo se representa el relé térmico en el Cadesimu, este siempre tiene los contactos principales y auxiliares.

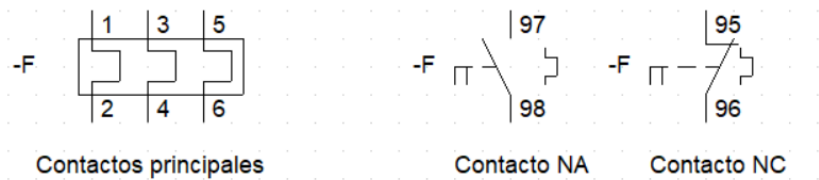


Figura 6.7. Símbolo en Cadesimu.

Su funcionamiento se basa en una lámina bimetálica compuesta por dos metales con distintos coeficientes de dilatación, donde el metal superior es más sensible a los cambios de temperatura.

Cuando la corriente que atraviesa el circuito se mantiene dentro del valor nominal, el calor generado se disipa sin problemas. Sin embargo, si la corriente supera ligeramente el nivel nominal, la lámina bimetálica no podrá disipar todo el calor, provocando que los metales se dilaten de manera desigual y generando una curvatura. Al alcanzar un punto crítico, esta curvatura activa el circuito de maniobra del relé, abriendo o cerrando los contactos auxiliares (Figura 6.8).

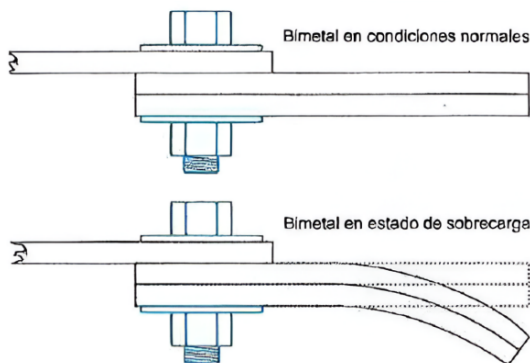


Figura 6.8. Relé Térmico.

Fuente: Rodríguez et al. (2014).

La desconexión por sobrecarga se lleva a cabo en el circuito de maniobra, utilizando un contacto auxiliar normalmente cerrado (NC) en serie con el circuito. Además, es común utilizar el contacto normalmente abierto (NO) del relé térmico para señalar de manera visual cuando el dispositivo ha sido activado (Figura 6.9).

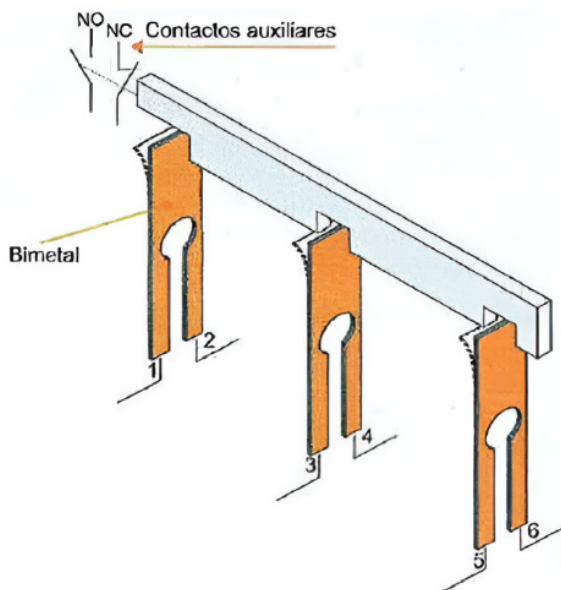


Figura 6.9. Desconexión del relé térmico.

Fuente: Rodríguez et al. (2014).

Conexión del Relé Térmico

Conexiones de potencia (o principales): Estas son las que se conectan directamente al motor y a la fuente de alimentación. El relé térmico se intercala en el circuito de alimentación del motor.

Conexiones de control (o auxiliares): Estas son contactos que cambian de estado cuando el relé térmico detecta una sobrecarga. Se utilizan para indicar la falla y, a menudo, para detener el circuito de control del contactor que alimenta el motor.

Pasos para la conexión:

1. **Identifica los terminales de potencia:** Busca los terminales marcados generalmente con números como **L1-T1, L2-T2, L3-T3** (para sistemas trifásicos) o simplemente **L1-T1** (para sistemas monofásicos).
 - **L1, L2, L3 (o L1):** Son los terminales donde llega la alimentación (desde el contactor o directamente desde la red, aunque esto es menos común).
 - **T1, T2, T3 (o T1):** Son los terminales donde se conecta el motor.
2. **Conecta los cables de potencia:**
 - Conecta los cables de alimentación a los terminales **L1, L2, L3 (o L1)**.
 - Conecta los cables que van al motor a los terminales **T1, T2, T3 (o T1)**.
 - **Importante:** Asegúrate de que la secuencia de fases sea correcta en sistemas trifásicos para evitar problemas con el giro del motor.
3. **Identifica los terminales de control (auxiliares):** Busca los terminales marcados generalmente con números como 95-96 (normalmente cerrado - NC) y 97-98 (normalmente abierto - NO).
 - **95-96 (NC):** Estos contactos están cerrados en condiciones normales. Cuando el relé térmico se dispara por sobrecarga, estos contactos se abren. Se utilizan comúnmente para detener el circuito de control del contactor que alimenta el motor.
 - **97-98 (NO):** Estos contactos están abiertos en condiciones normales. Cuando el relé térmico se dispara por sobrecarga,

estos contactos se cierran. Se utilizan comúnmente para encender una luz piloto de falla o enviar una señal a un sistema de control.

4. Conecta los cables de control (auxiliares):

- **Para detener el contactor:** Conecta los terminales **95 y 96** en serie con la bobina del contactor en el circuito de control. Cuando el relé térmico se dispare, abrirá este circuito y desactivará el contactor, deteniendo el motor.
- **Para señalización:** Conecta los terminales **97 y 98** a una luz piloto o a la entrada de un sistema de control. Cuando el relé térmico se dispare, cerrará este circuito, activando la señal.

Consideraciones importantes:

Ajuste de la corriente: Es crucial ajustar la perilla de corriente del relé térmico al valor nominal de corriente del motor. Esto asegura que el relé térmico se dispare correctamente ante una sobrecarga.

Prueba de funcionamiento: Después de la conexión, es importante realizar una prueba (simulando una sobrecarga si es posible o verificando el funcionamiento de los contactos auxiliares al accionar el botón de prueba del relé térmico) para asegurarse de que el relé térmico funcione correctamente.

Seguridad: Siempre desconecta la alimentación antes de realizar cualquier conexión eléctrica. Si no tienes experiencia, es recomendable que la conexión la realice un electricista calificado.

Diagrama de conexión: Consulta siempre el diagrama de conexión específico del relé térmico que estés utilizando, ya que las marcas y la configuración pueden variar ligeramente entre fabricantes.

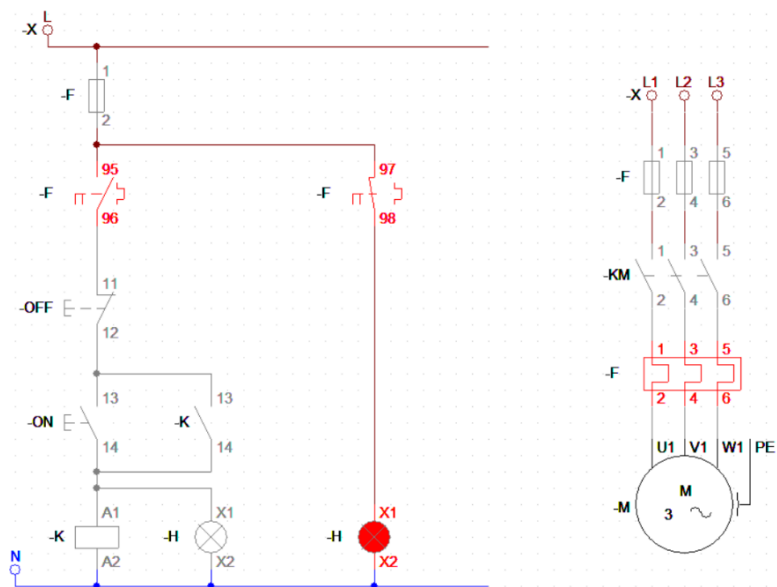


Figura 6.10. Ejemplo de un motor conectado con un relé térmico.

Fuente: Rodríguez et al. (2014)

Para simular en el Cadesimu una sobrecorriente (Figura 6.10) se debe hacer clic en el símbolo de los contactos principales del relé térmico, esto hace que se active y los contactos auxiliares cambiaran de estado. El relé térmico siempre va antes del motor y después de los contactores.

6.5. Interruptor automático: tipos, funcionamiento y aplicaciones en protección eléctrica

El interruptor automático es un dispositivo de protección que opera bajo el mismo principio que un fusible, pero con la ventaja de que no requiere ser reemplazado tras una sobreintensidad. Su principal función es interrumpir el flujo de corriente cuando se detectan anomalías, evitando daños en la instalación eléctrica (Figura 6.11).

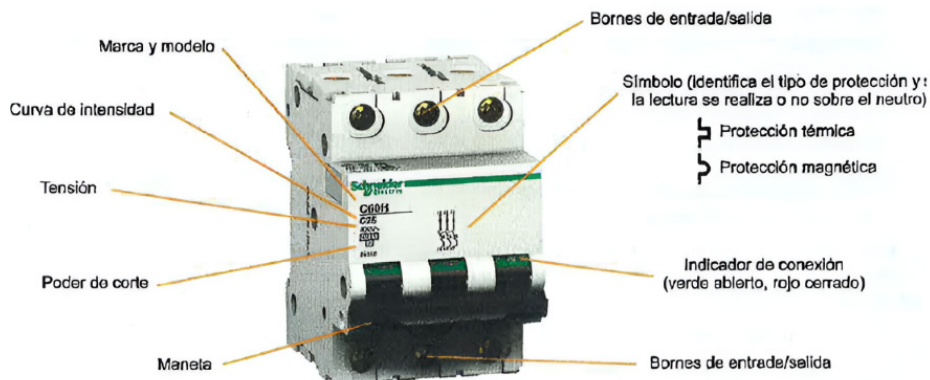


Figura 6.11. Especificaciones técnicas de un interruptor automático.

Fuente: Rodríguez et al. (2014).

También, el interruptor automático se puede encontrar para conexiones monofásicas o trifásicas como se muestra en la Figura 6.12.

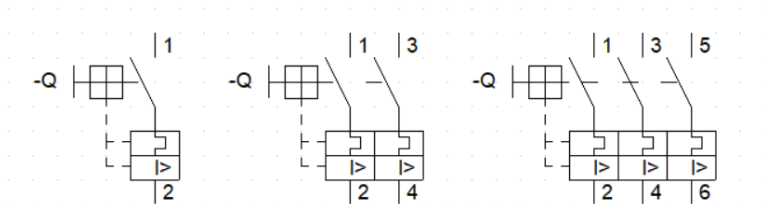


Figura 6.12. Símbolo en Cadesimu.

Existen dos tipos principales de interruptores automáticos según el tipo de protección que brindan:

- **Interruptor automático magnético:** diseñado para actuar únicamente ante sobreintensidades de tipo magnético, es decir, cortocircuitos. Su uso es poco común en instalaciones eléctricas convencionales, aunque en entornos industriales suele emplearse junto con relés térmicos para la protección de motores eléctricos.

- **Interruptor automático magnetotérmico:** proporciona protección tanto frente a sobrecargas como a cortocircuitos, combinando mecanismos térmicos y magnéticos. Es el dispositivo de protección más utilizado en instalaciones eléctricas y, en la práctica, cuando se habla de interruptores automáticos, generalmente se hace referencia a este tipo, también conocido como disyuntor.

Estos dispositivos cuentan con un resorte interno que se activa cuando la corriente sobrepasa el umbral de seguridad, desconectando el circuito de manera inmediata para evitar daños mayores (Figura 6.13).

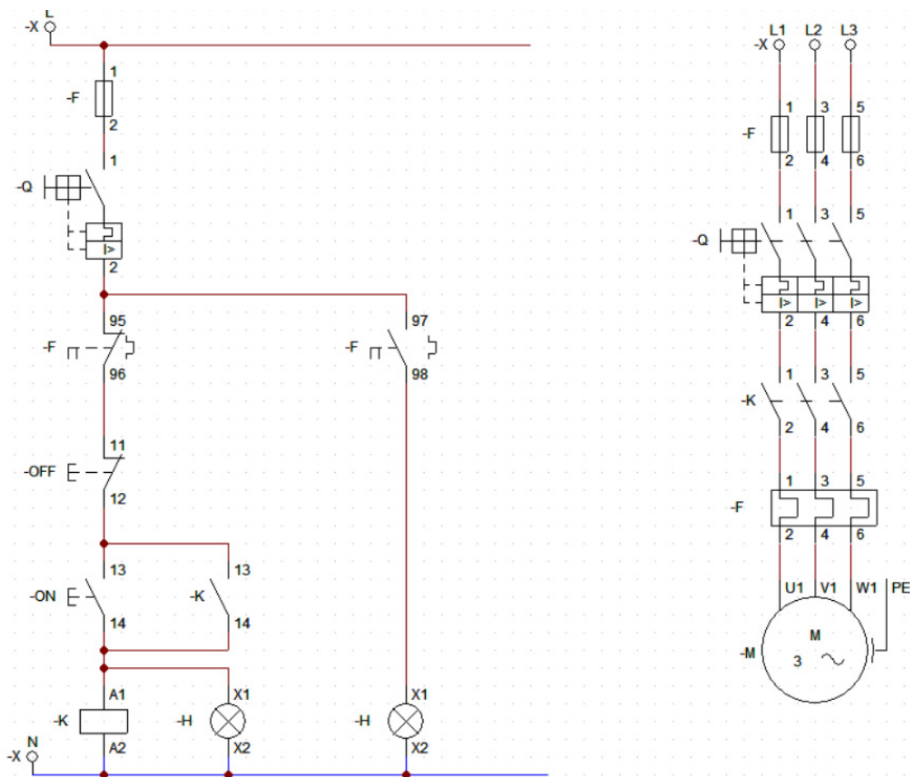


Figura 6.13. Ejemplo, de un circuito con sus protecciones.

6.6. Interruptor diferencial: funcionamiento y protección de personas

Cuando se produce un contacto en una instalación eléctrica, ya sea directo o indirecto, se genera una corriente de fuga que se desvía hacia tierra. En los contactos indirectos, esta corriente es conducida por los conductores de protección, mientras que en los contactos directos puede atravesar el cuerpo humano, representando un riesgo grave.

Para evitar estos peligros, se emplea el **interruptor diferencial**, también denominado **dispositivo diferencial residual (DDR)**. Este componente de protección es capaz de detectar corrientes de fuga de baja intensidad, lo que permite interrumpir automáticamente el circuito antes de que la corriente alcance niveles peligrosos para las personas. De esta manera, el interruptor diferencial minimiza el riesgo de electrocución y protege la integridad de la instalación eléctrica (Figura 6.14).

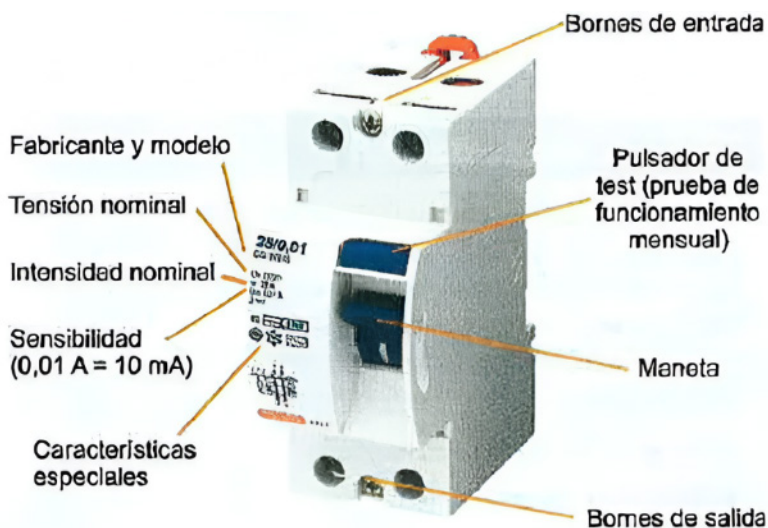


Figura 6.14. Símbolo en Cadesimu.

Fuente: Rodríguez et al. (2014).

Pero también el interruptor diferencial se puede encontrar para conexiones monofásicas o trifásicas (Figura 6.15).

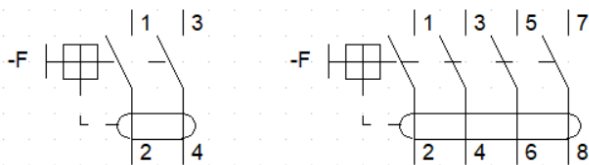


Figura 6.15. Símbolo en Cadesimu del interruptor diferencial.

La Tabla 6.2 presenta un resumen comparativo entre el interruptor automático y el interruptor diferencial, destacando sus funciones principales y el tipo de protección que brindan en un sistema eléctrico. Este cuadro permite comprender de manera rápida y clara cómo cada dispositivo contribuye a la seguridad y al correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas.

El interruptor automático tiene como función principal proteger la instalación eléctrica frente a sobrecargas y cortocircuitos. Cuando la corriente que circula por el circuito supera los valores seguros, el interruptor automático interrumpe el flujo eléctrico, evitando daños en los conductores, equipos conectados y posibles riesgos de incendio. Su actuación es fundamental para mantener la integridad del sistema eléctrico y garantizar la continuidad del suministro de manera segura.

Por otro lado, el interruptor diferencial está diseñado para proteger a las personas frente a posibles descargas eléctricas. Detecta las fugas de corriente hacia tierra que podrían ocurrir por fallas de aislamiento o contacto accidental con partes energizadas. Al identificar estas fugas, el diferencial desconecta el circuito, minimizando el riesgo de electrocución y proporcionando un nivel de seguridad que el interruptor automático por sí solo no puede garantizar.

Ambos dispositivos cumplen funciones complementarias: mientras el interruptor automático protege los equipos y la instalación, el interruptor diferencial protege a las personas, garantizando una instalación eléctrica más segura y confiable. Su uso combinado es obligatorio en muchas normativas de seguridad eléctrica para asegurar tanto la protección de la infraestructura como la integridad de los usuarios.

Tabla 6.2. Resumen de interruptor automático y diferencial.

Tipo de Interruptor	Función Principal	Protección
Automático	Protege la instalación	Sobrecargas y cortocircuitos
Diferencial	Protege las personas	Fugas de corriente

6.7. Descargadores de sobretensiones: protección de instalaciones críticas

El descargador de sobretensiones, también llamado limitador de sobretensiones es un dispositivo diseñado para proteger las instalaciones eléctricas ante aumentos repentinos de voltaje. Su funcionamiento se basa en un material interno capaz de desviar estas sobretensiones hacia tierra, impidiendo que ingresen a la instalación y dañen los equipos eléctricos (Figura 6.16).

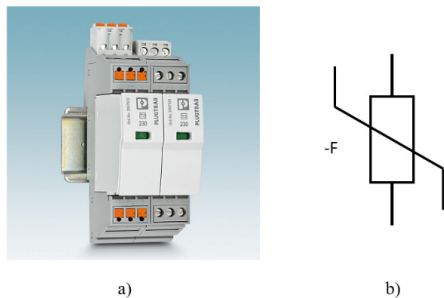


Figura 6.16. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Nota: a) descargador de sobretensiones comercial, b) Símbolo genérico. Este elemento no se encuentra disponible para simulación en Cadesimu.

Aunque su uso no siempre es obligatorio, es altamente recomendable en zonas con alta incidencia de tormentas eléctricas. Además, el **Reglamento de Baja Tensión** establece su obligatoriedad en ciertos casos, como en edificios con sistemas pararrayos, instalaciones agrícolas o industriales críticas, y entornos donde un fallo eléctrico pueda comprometer la seguridad humana (Figura 6.17).

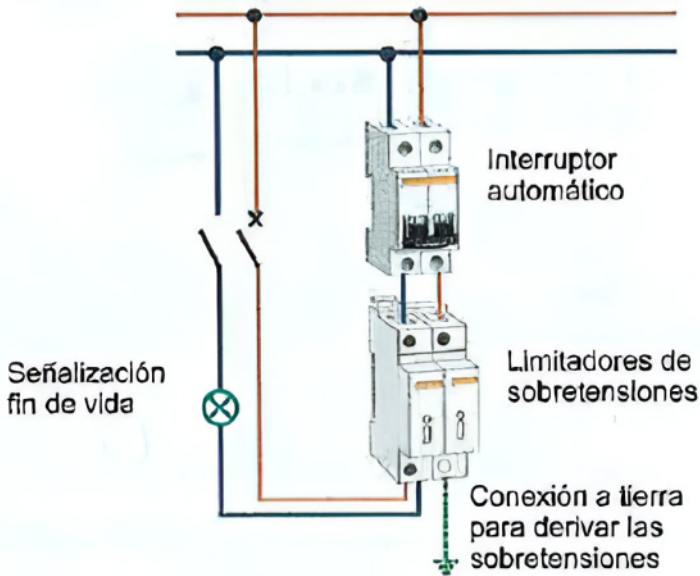


Figura 6.17. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Fuente: Rodríguez et al. (2014).

Los descargadores de sobretensiones se caracterizan por su **tensión nominal o de disparo**, que determina el voltaje a partir del cual actúan, y su **vida útil**, definida por el número máximo de descargas que pueden soportar antes de requerir reemplazo. Para facilitar su mantenimiento, estos dispositivos incluyen un indicador visual que señala cuándo deben ser sustituidos.

Existen diferentes tipos de protectores de sobretensión según su aplicación:

- **Protección de instalaciones eléctricas:**

- Tipo 1: Alto nivel de protección.
- Tipo 2: Protección intermedia.
- Tipo 3: Protección baja.

- **Protectores específicos para pararrayos.**

- **Protectores para redes de telecomunicación.**

El uso de descargadores de sobretensiones refleja la importancia de anticipar eventos eléctricos inesperados en la planificación de instalaciones seguras. Su inclusión en sistemas críticos no solo protege equipos, sino que también minimiza interrupciones operativas y reduce riesgos económicos asociados a fallas eléctricas.

La clasificación por tipos y niveles de protección sugiere que la selección adecuada depende de un análisis de riesgos y de la criticidad de la instalación, lo que implica una estrategia de diseño más integral que considere tanto la protección de personas como la continuidad de procesos. Asimismo, la presencia de indicadores de vida útil evidencia la necesidad de mantenimiento preventivo y monitoreo constante, subrayando que la seguridad eléctrica no es estática, sino un proceso continuo que requiere atención y gestión periódica.



CAPÍTULO

Instrumentos y sistemas de medición
eléctrica

7.1. Voltímetro

En cualquier instalación eléctrica, es fundamental monitorear y controlar los distintos parámetros del circuito mediante mediciones y registros. Para ello, se utilizan dispositivos y equipos de medición, los cuales cumplen un papel clave en la supervisión del sistema.

Estos equipos son altamente precisos y requieren una conexión adecuada y una correcta interpretación de sus lecturas para evitar errores o fallos en la instalación. Por esta razón, al seleccionarlos e instalarlos, es importante considerar aspectos como el método de conexión, los límites de la escala de medición, las especificaciones de funcionamiento, la posición de uso y el rango de operación.

Existen dos tipos principales de dispositivos de medición: digitales y analógicos.

- **Dispositivos digitales:**
Presentan el valor medido en una pantalla frontal con indicadores como punto

decimal, polaridad y unidad de medida, lo que facilita una lectura rápida y precisa.

- **Dispositivos analógicos:** Muestran la medición mediante una aguja que se desplaza sobre una escala graduada. Algunos modelos permiten medir varias magnitudes, como las tres intensidades de fase en un circuito trifásico, pero dado que solo pueden mostrar un valor a la vez, suelen contar con un selector giratorio para elegir la lectura deseada.

El voltímetro es un instrumento diseñado para medir la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito, expresada en voltios (V). Su funcionamiento se basa en la desviación de una aguja (en modelos analógicos) o la conversión de la señal en un valor numérico (en modelos digitales). Se conecta en paralelo con el componente o tramo de circuito donde se desea medir el voltaje. Es esencial en cualquier instalación eléctrica, ya que permite verificar que los valores de tensión sean los adecuados para el correcto funcionamiento de los dispositivos y evitar daños por sobrevoltajes o caídas de tensión (Figura 7.1).



Figura 7.1. Voltímetro industrial analógico.

Fuente: Simaftinsley (2025).

7.2. Amperímetro

El amperímetro es un dispositivo utilizado para medir la corriente eléctrica en un circuito, expresada en amperios (A). Para su correcto funcionamiento, debe conectarse en serie con el circuito que se desea analizar. Puede ser de tipo analógico o digital, dependiendo del sistema de lectura. Es fundamental para monitorear el consumo eléctrico de una instalación y prevenir sobrecargas que podrían dañar los equipos o comprometer la seguridad del sistema (Figura 7.2).



Figura 7.2. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Fuente: Simaftinsley (2025).

7.3. Óhmetro

El óhmetro es un instrumento que mide la resistencia eléctrica de un componente o circuito, expresada en ohmios (Ω). Funciona aplicando una pequeña corriente al elemento bajo prueba y midiendo la caída de voltaje resultante. Es ampliamente utilizado en

mantenimiento y diagnóstico de circuitos eléctricos y electrónicos, permitiendo detectar fallos como conexiones defectuosas, cables rotos o componentes dañados. Su importancia radica en garantizar la correcta conducción de la electricidad y evitar problemas en la instalación (Figura 7.3).



Figura 7.3. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Fuente: Simaftinsley (2025).

7.4. Vatímetro

El vatímetro es un dispositivo utilizado para medir la potencia eléctrica consumida en un circuito, expresada en vatios (W). Su funcionamiento se basa en la medición simultánea de voltaje y corriente, y su conexión varía según si se trabaja con sistemas monofásicos o trifásicos. Es clave en la industria para determinar el consumo real de energía de los equipos y optimizar su eficiencia, contribuyendo al ahorro energético y la reducción de costos operativos (Figura 7.4).



Figura 7.4. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Fuente: Simaftinsley (2025).

7.5. Frecuencímetro

El frecuencímetro es un instrumento diseñado para medir la frecuencia de una señal eléctrica, expresada en hercios (Hz). Puede ser analógico o digital y se conecta en paralelo al circuito. Es fundamental en sistemas que operan a frecuencias específicas, como en redes eléctricas o equipos electrónicos, ya que cualquier desviación de la frecuencia nominal puede afectar el rendimiento y la estabilidad de los dispositivos conectados (Figura 7.5).



Figura 7.5. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Fuente: Simaftinsley (2025).

7.6. Fasímetro

El fasímetro es un dispositivo que mide el ángulo de desfase entre la tensión y la corriente en un circuito de corriente alterna. Su funcionamiento se basa en la comparación de las señales de voltaje y corriente para determinar si el sistema está operando en condiciones óptimas. Se utiliza principalmente en instalaciones trifásicas y en el análisis de la calidad de energía, ya que un alto desfase puede indicar problemas de eficiencia y pérdidas de energía (Figura 7.6).



Figura 7.6. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Fuente: Simaftinsley (2025).

7.7. Sincronoscopio

El sincronoscopio es un instrumento utilizado para verificar la sincronización de dos sistemas eléctricos antes de conectarlos entre sí, asegurando que operen en la misma frecuencia y fase. Es ampliamente empleado en plantas de generación y en redes eléctricas donde se requiere la conexión de generadores a la red. Su importancia radica en evitar daños en los equipos y garantizar un suministro estable y eficiente de energía (Figura 7.7).



Figura 7.7. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Fuente: Simaftinsley (2025).

7.3. Equipos de monitoreo y medición avanzada de redes eléctricas

El analizador de redes es un dispositivo avanzado que permite monitorear diversos parámetros eléctricos en un sistema, como voltaje, corriente, potencia, frecuencia, factor de potencia y calidad de energía. Funciona recopilando y procesando datos en tiempo real, lo que lo convierte en una herramienta indispensable para el mantenimiento y la optimización de sistemas eléctricos industriales y comerciales. Su uso contribuye a la detección de anomalías y al ahorro energético (Figura 7.8).



Figura 7.8. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Fuente: Simaftinsley (2025).

El contador de energía es un equipo encargado de registrar el consumo eléctrico de una instalación a lo largo del tiempo, expresado en kilovatios-hora (kWh). Funciona midiendo la potencia utilizada y acumulándola para reflejar el gasto total. Es fundamental en la facturación de energía eléctrica y en la gestión eficiente del consumo energético en hogares, empresas e industrias (Figura 7.9).



Figura 7.9. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Fuente: Simaftinsley (2025).

Esta energía puede ser activa (kWh) o reactiva (kVar).

Energía Activa (kWh)

- **Energía activa** es la energía que **realmente se utiliza** para realizar trabajo en un sistema eléctrico, como iluminar una lámpara, mover un motor o calentar un horno.
- Se mide en **kilovatios-hora (kWh)**, que es una unidad de energía.
- **1 kWh** es la cantidad de energía que se consume al mantener una potencia de **1 kilovatio (kW)** durante **una hora**.

Ejemplo: Si tienes una lámpara de 100 vatios (0.1 kW) y la dejas encendida durante 10 horas, has consumido **1 kWh** de energía activa ($0.1 \text{ kW} * 10 \text{ horas} = 1 \text{ kWh}$).

La energía activa es la que realmente hace el trabajo útil, y es la que te cobran las compañías eléctricas.

Energía Reactiva (kVAr)

- **Energía reactiva** no realiza trabajo útil por sí misma, pero es necesaria para **crear y mantener los campos magnéticos** que permiten el funcionamiento de ciertos equipos eléctricos como motores, transformadores y bobinas.
- Se mide en **kilovoltios-amperios-reactivos (kVAr)**.

Ejemplo: En un motor eléctrico, se necesita energía reactiva para crear el campo magnético que hace que el motor gire, pero esta energía no se convierte en trabajo útil como el movimiento del motor.

Aunque no se utiliza directamente, **la energía reactiva también se genera y consume** en el sistema eléctrico, y aunque no “trabaja”, genera pérdidas de energía en la red, ya que hace que los generadores, transformadores y cables tengan que manejar más corriente de la que realmente se necesita para hacer el trabajo útil.

Los transformadores de medida son dispositivos utilizados para reducir las magnitudes de voltaje o corriente en un sistema eléctrico, permitiendo que puedan ser medidas de manera segura con instrumentos estándar. Existen dos tipos principales: transformadores de corriente (TC) y transformadores de potencial (TP). Son esenciales en sistemas de protección y medición, ya que permiten monitorear y controlar grandes valores eléctricos sin riesgo para los equipos de medición y los operadores (Figura 7.10).



Figura 7.10. Símbolo genérico del descargador de sobretensiones.

Fuente: Simaftinsley (2025).

Los transformadores de medida se dividen en dos categorías: de tensión y de intensidad.

Los transformadores de tensión disminuyen un voltaje de entrada elevado a un nivel más bajo. Son comunes en instalaciones de alta tensión y rara vez se emplean en sistemas de baja tensión.

Los transformadores de intensidad, también llamados transformadores de corriente reducen una corriente de entrada alta a un valor menor. Son ampliamente utilizados en entornos industriales, ya que pueden medir corrientes de hasta 10 kA y entregar valores secundarios de entre 1 y 5 A.

CAPÍTULO



Esquemas de control de motores eléctricos

8.1. Motores monofásicos: conexión, funcionamiento y control de giro

En el ámbito industrial y doméstico, el control de motores eléctricos es esencial para garantizar su correcto funcionamiento, seguridad y eficiencia energética. Este capítulo presenta una serie de esquemas de conexión para motores monofásicos y trifásicos, abordando sus configuraciones más comunes en sistemas de automatización y control. A través de estos diagramas, se ilustrarán distintas formas de arranque, paro y protección de los motores, facilitando su aplicación en diversos entornos eléctricos.

Un motor monofásico necesita dolo de una conexión a fase y la otra conexión a neutro, independientemente de la polaridad el motor gira en un solo sentido (Figura 8.1).

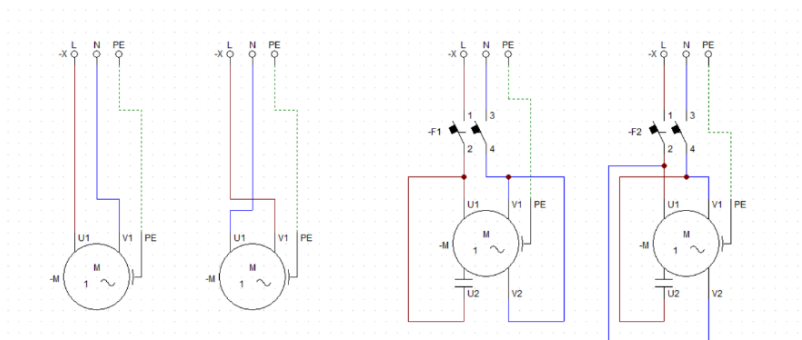


Figura 8.1. Motor monofásico.

Un motor monofásico normal necesita se conectado a 110V o a 220V, pero este solo gira en un sentido, para poder hacer el cambio de giro es necesario que el tipo de motor monofásico lo permita.

El motor monofásico requiere de una configuración con contactores para poder realizar el cambio de giro, esto se debe a que un motor no puede girar de forma brusca, primero debe detenerse por un corto instante y entonces sí puede arrancar el sentido contrario, si no se hace de esta manera se corre el riesgo de que los instrumento el propio motor sufran averías.

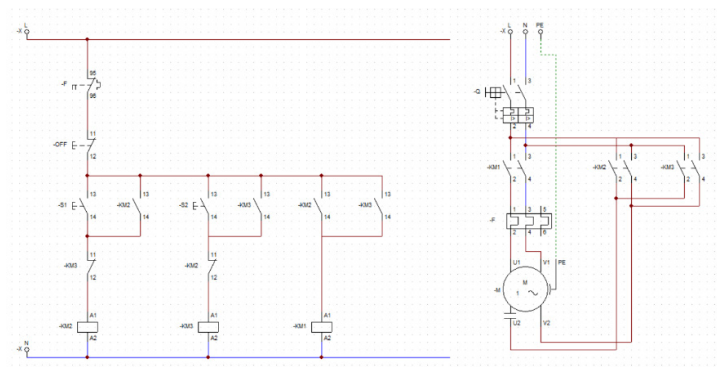


Figura 8.2. Motor monofásico con cambio de giro.

8.2. Motores trifásicos: arranque directo y arranque estrella-triángulo (manual y automático)

Un motor trifásico es uno de los elementos más importantes dentro del control industrial, por lo que es importante entender cómo realizar su arranque. La Figura 8.3 muestra a un motor trifásico conectado de forma directa a la alimentación también trifásica, donde el relé térmico se usa para protección del equipo, y un contactor para separar el control de la parte de potencia. No es recomendable esta conexión para hacerlo en la vida real ya que es preferible hacer un cambio con la conexión estrella triángulo.

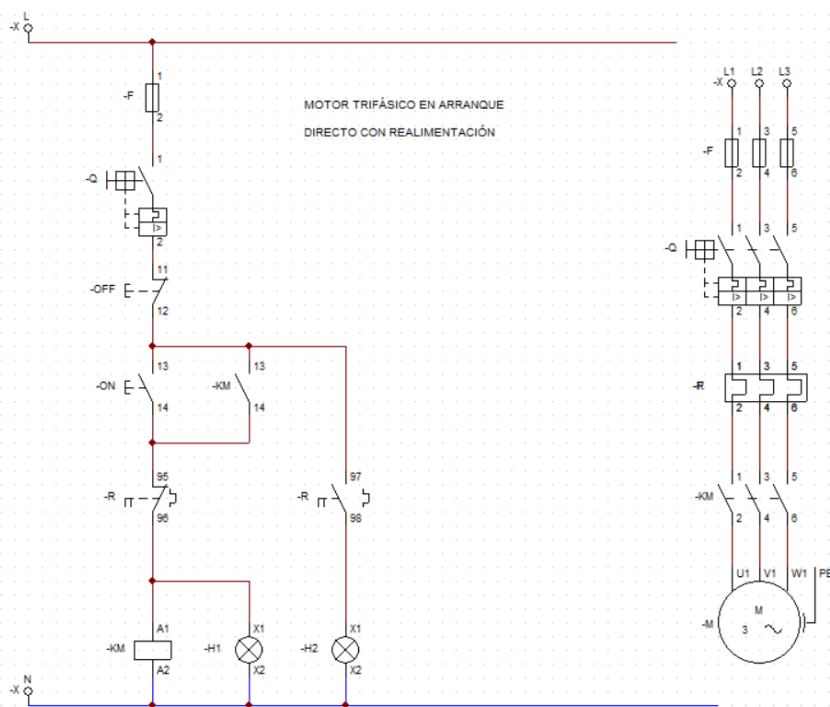


Figura 8.3. Motor trifásico en arranque directo con realimentación.

Un motor trifásico requiere de una conexión estrella triángulo para facilitar el arranque y la operación al largo plazo del motor. La configuración es compleja y requiere de varios elementos, pero es necesario para garantizar un funcionamiento óptimo, La figura muestra cómo hacer el cambio de estrella a triángulo usando un temporizador. El motor inicia en conexión estrella, y después de un tiempo determinado, cambia la configuración a triángulo, el motor se mantiene operando en esta configuración hasta que se apaga el motor con su respectivo pulsador (Figura 8.4).

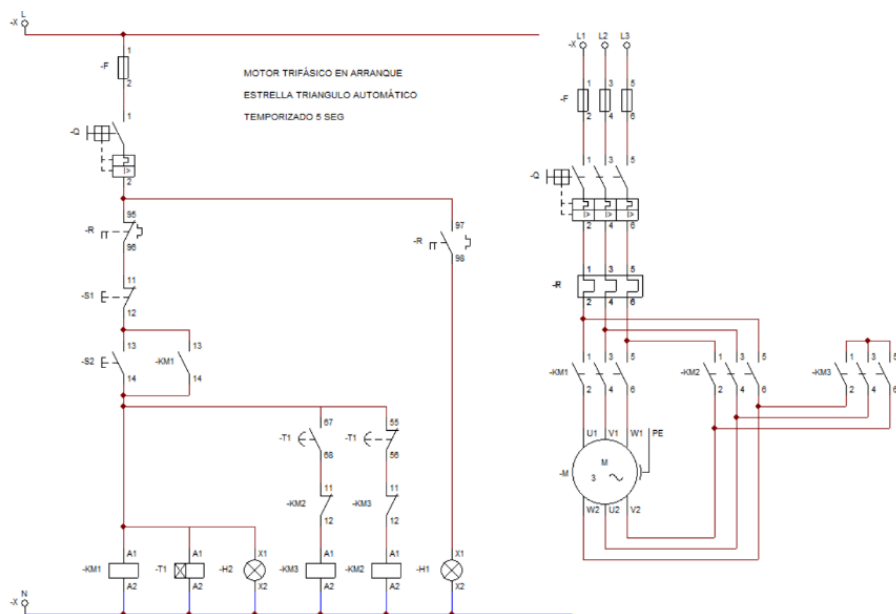


Figura 8.4. Motor trifásico en arranque estrella – triángulo, Método automático con temporizador.

Dependiendo del proceso a automatizar podría ser necesario cambiar la configuración se estrella a triángulo de forma manual, la figura muestra cómo se conectan los elementos para poder hacer el cambio de esta manera a través de pulsadores (Figura 8.5).

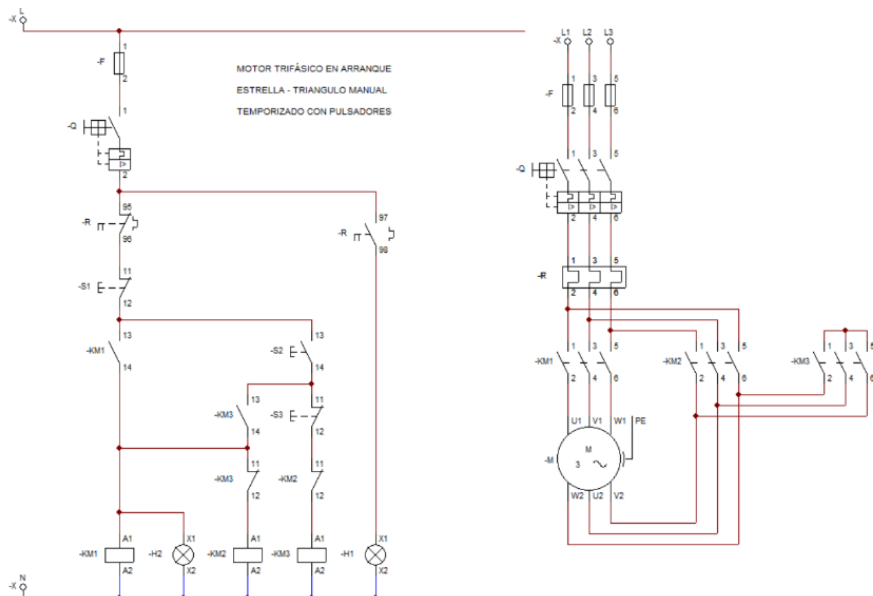


Figura 8.5. Motor Trifásico en arranque estrella – triángulo, Método manual temporizador con pulsador.

8.3. Control de inversión de giro en motores trifásicos mediante pulsadores

En ciertas aplicaciones industriales, es frecuente que se requiera invertir el sentido de giro de un motor trifásico para realizar maniobras específicas, como cambiar la dirección de una cinta transportadora, invertir el movimiento de bombas o ajustar el sentido de accionamiento de maquinaria. A diferencia de un motor monofásico, la inversión de giro en motores trifásicos implica un manejo cuidadoso de las fases de alimentación, ya que la alteración directa del orden de conexión de las fases puede generar corrientes de arranque elevadas, posibles daños mecánicos o eléctricos y riesgo para el equipo.

El control mediante pulsadores permite realizar esta inversión de manera segura y sencilla desde el panel de control. Normalmente

se utilizan dos pulsadores: uno para el giro en sentido horario y otro para el giro en sentido antihorario. Estos pulsadores actúan sobre contactores específicos que intercambian dos fases del motor, logrando el cambio de dirección. Además, el sistema de control incluye enclavamientos eléctricos que impiden la activación simultánea de ambos contactores, evitando cortocircuitos y daños al motor.

El diagrama asociado a esta configuración ilustra la disposición de los elementos de control y potencia, mostrando la conexión de los pulsadores a los contactores y la forma en que los contactos auxiliares se utilizan para garantizar un funcionamiento seguro. Este tipo de control es especialmente útil en entornos donde se requiere flexibilidad operativa y cambios frecuentes de dirección, y permite al operador intervenir manualmente sin comprometer la integridad del motor ni del circuito eléctrico (Figura 8.6).

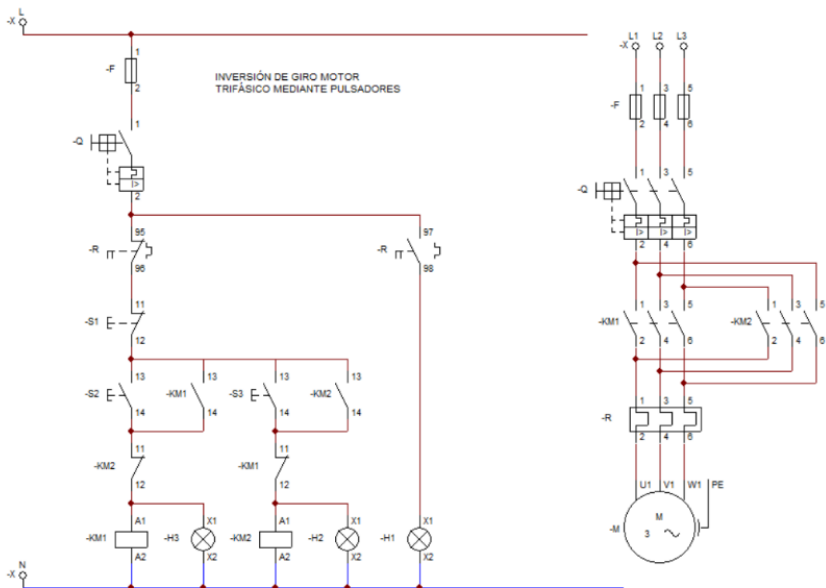


Figura 8.6. Inversión de giro en motor trifásico mediante pulsadores.

El control de motores eléctricos abarca técnicas para manejar su encendido, apagado, protección y dirección de giro en distintos tipos de instalaciones. Los motores monofásicos, típicos en aplicaciones domésticas o de baja potencia, requieren conexiones simples, pero pueden integrarse con sistemas de contactores para invertir su sentido de rotación y garantizar arranques suaves que prolonguen la vida útil del equipo.

En entornos industriales, los motores trifásicos presentan mayores desafíos debido a su potencia y complejidad. Su arranque puede realizarse de forma directa o mediante métodos progresivos como estrella-triángulo, optimizando el consumo energético y reduciendo esfuerzos mecánicos sobre el motor. La incorporación de temporizadores, relés térmicos y sistemas de enclavamiento asegura que las maniobras se ejecuten de manera coordinada, protegiendo tanto el motor como la instalación eléctrica.

El cambio de dirección de giro en motores trifásicos se gestiona mediante pulsadores y contactores, evitando que se produzcan cortocircuitos o sobrecargas por activación simultánea. Este tipo de control permite adaptarse a procesos dinámicos, como cintas transportadoras, bombas o maquinaria que requiere inversión frecuente, y puede complementarse con sistemas automáticos para optimizar la operación sin intervención constante del operador.

Además, la supervisión y monitoreo continuo del motor mediante dispositivos auxiliares permite detectar anomalías tempranas, como sobrecalentamientos, desbalances de fases o arranques incorrectos, contribuyendo a la eficiencia energética, reducción de fallas y mantenimiento predictivo. En conjunto, estas estrategias permiten integrar motores eléctricos en sistemas de automatización más complejos, garantizando seguridad, confiabilidad y prolongando la vida útil de los equipos.

- Asociación Profesional de Empresarios de Instalaciones Eléctricas y Telecomunicaciones de Madrid. (2021). *Qué es y cómo funciona un contactor*. APIEM. <https://www.apiem.org/que-es-y-como-functiona-un-contactor/>
- Aula eléctrica. (2024). 6.3.- Pulsadores. https://sarreplec.caib.es/pluginfile.php/23370/mod_resource/content/1/63_pulsadores.html
- Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers*. Newnes.
- Electrotec. (2025). Qué es y para qué sirve el relé técnico. <https://electrotec.pe/blog/ReleTermicoPartesyFuncionamiento>
- Faradayos. (2015). Tipos de cables eléctricos según su aplicación. <https://www.faradayos.info/2013/12/tipos-de-cables-electricos.html>
- Fundación Wikimedia. (2025). Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
- Groover, M. P. (2021). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Prentice Hall.
- Guimarães, T. (2018). Aplicação de práticas e didáticas da utilização dos softwares CADe-SIMU para a simulação computacional de comandos elétricos [Trabajo de titulación, Universidade Federal de Ouro Preto].
- Johnson, D. (1987). *Programmable controllers for factory automation (Manufacturing engineering and materials processing)* (1st ed.). CRC Press.
- Kombitec. (2021). Fusibles industriales. <https://www.kombitec.com.mx/fusibles/>

- Kumar, K., & Babu, B. S. (Eds.). (2024). *Industrial automation and robotics: Techniques and applications*. CRC Press.
- Pérez-Aguilar, D., Alaya-Portal, R., Malca-Cueva, F., Padilla-Chávez, L., Terrones-Castro, I., & Rodríguez, M. (2023). Proposal for the automation of the rolling process in the assembly of parts in automotive vehicles. *21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023)*. Buenos Aires, Argentina.
- Rodríguez, J., Cerda, L., & Sánchez, R. (2014). *Automatismos industriales* (1a ed.). Editorial Paraninfo. <https://pdfcoffee.com/automatismos-industriales-pdfdrive-3-pdf-free.html>
- Sifam Tinsley. (2025). Products. <https://www.sifamtinsley.com/products>
- Transmexicana. (2025). Sitio oficial. <https://www.fusibles-electricos.com/>
- Vaello Sancho, J. R. (2018). Formación para la Industria 4.0 Cursos gratuitos y online para la Industria. <https://automatismoindustrial.com/formacion-industrial/>



Maxwell Arbey Salazar Guilcamaigua

Ingeniero Mecatrónico con Maestría en Ciencias en Robótica y amplia experiencia en docencia universitaria y gestión de proyectos tecnológicos. Actualmente, docente en el Tecnológico Universitario Rumiñahui, donde imparto asignaturas de electrónica, control y modelado 3D. Anteriormente, enseñé informática y redes en la Universidad Metropolitana. Como emprendedor, he liderado múltiples proyectos en el ámbito de la impresión 3D y la robótica, combinando mi pasión por la innovación con la educación. Mi experiencia incluye desde el diseño y prototipado de piezas complejas hasta la implementación de soluciones en proyectos de automatización y robótica, lo que me ha permitido desarrollar un enfoque práctico y educativo. Cuento con una sólida formación académica respaldada por certificaciones en automatización robótica de procesos, bases de datos, ciberseguridad, redes y programación. Mi objetivo es crear soluciones que impulsen el avance tecnológico y el aprendizaje interactivo, formando a la próxima generación de ingenieros y tecnólogos.



Paola Alexandra Portero Donoso

Ingeniera en Electrónica, Control y Redes Industriales, con Maestría en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos, docente e investigadora comprometida con la innovación educativa, la sostenibilidad ambiental y la mejora continua del proceso formativo. Mi trayectoria se ha orientado al desarrollo de proyectos en robótica educativa, automatización y soluciones tecnológicas sostenibles, integrando la gestión ambiental como eje transversal en la formación técnica y académica. He fortalecido mi perfil con un Diplomado en Formación en ODS y Educación Sostenible, así como cursos en Necesidades Educativas Especiales en Educación Superior y Fundamentos de la Docencia Universitaria con Inteligencia Artificial. Actualmente curso una Maestría en Docencia e Investigación, lo que refuerza mi enfoque pedagógico y científico. Mi labor se caracteriza por promover una educación crítica, responsable y consciente, articulando tecnología, investigación y gestión ambiental para responder a los retos sociales y ecológicos del siglo XXI.



Carmen Inés Huerta Suárez

Profesional ecuatoriana con amplia experiencia en gestión académica y administrativa en educación superior. Actualmente se desempeña como Vicerrectora Administrativa Financiera en el Instituto Tecnológico Superior Universitario Rumiñahui. Su trayectoria institucional supera los 15 años, ocupando cargos como Directora de Planificación, Directora de Bienestar Estudiantil y Asistente de Rectorado, lo que evidencia su compromiso con el desarrollo integral de la comunidad educativa. Es Ingeniera en Sistemas de Información, con una Maestría en Dirección y Administración de Empresas (MBA) por la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR), además de estudios especializados en Gestión de Recursos Humanos. Actualmente cursa un Doctorado en Educación, consolidando su perfil académico orientado a la calidad, innovación y la mejora continua.

El libro *Control Industrial con CADESIMU*. Guía para Principiantes ofrece una introducción integral y progresiva al mundo del control industrial y la automatización eléctrica, orientada especialmente a estudiantes y personas que se inician en esta disciplina. La obra combina fundamentos teóricos con un enfoque práctico apoyado en el uso del software de simulación CADESIMU, lo que permite comprender y aplicar los conceptos en un entorno seguro y controlado. A lo largo del texto se abordan los principios básicos de la automatización industrial, la organización de la energía eléctrica y la estructura de los sistemas eléctricos utilizados en la industria. Se analizan los componentes esenciales de las instalaciones, como conductores, dispositivos de maniobra, elementos de control y protección, destacando su función dentro de un sistema integrado. Esta base conceptual permite al lector entender cómo se diseñan y operan los circuitos de control industrial. El libro dedica una parte central al uso de CADESIMU como herramienta didáctica, guiando al lector en el reconocimiento de su interfaz, el manejo de sus funciones y la simulación de circuitos eléctricos. Mediante esta plataforma, se facilita la experimentación práctica sin los riesgos asociados a instalaciones reales, fortaleciendo el aprendizaje activo y la capacidad de análisis. Asimismo, se estudian dispositivos clave como contactores, relés, temporizadores y sistemas de enclavamiento, junto con estrategias de protección eléctrica y medición, enfatizando la seguridad y el monitoreo de las instalaciones. Finalmente, se presentan esquemas de control de motores monofásicos y trifásicos, incluyendo distintos métodos de arranque e inversión de giro. En conjunto, la obra proporciona una visión clara, aplicada y formativa del control industrial, fomentando competencias técnicas, criterio de seguridad y una comprensión sistémica necesaria para desenvolverse en entornos industriales reales.



ISBN: 978-9942-560-16-2

