



INSTITUTO SUPERIOR
UNIVERSITARIO

SUCE

**GUÍA GENERAL DE ESTUDIO
DE CONTROL ELÉCTRICO
INDUSTRIAL**



Guía General de Estudio de Control Eléctrico Industrial

Rubén Darío Tirira Chulde

Édgar Javier Cajas Oña

Cristian Fernando Arias Castellano

Alexis Geovanny Taco Cabrera

2026

Esta publicación ha sido sometida a revisión por pares académicos específicos por:

Holger Mauricio Matute Castillo

Universidad UTE EC.

Corrección de estilo:

- Édgar Javier Cajas Oña - Docente – Sucre

Diseño y diagramación:

- Freddy Javier Centeno Martínez - Docente - Sucre

Editorial RIMANA

Primera Edición
Quito – Ecuador

INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO SUCRE

ISBN: 978-9942-590-14-5

Esta publicación está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional.



MISIÓN

Ser una Institución Superior Universitaria con estándares de calidad académica e innovación, reconocida a nivel nacional con proyección internacional.

VISIÓN

Formamos profesionales competentes con espíritu emprendedor, capaces de contribuir al desarrollo integral del país.

Los contenidos de este trabajo están sujetos a una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0). Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material citando la fuente, bajo los siguientes términos: Reconocimiento- debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. No Comercial-no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. Compartir igual-Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual
4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)**

Usted acepta y acuerda estar obligado por los términos y condiciones de esta Licencia, por lo que, si existe el incumplimiento de algunas de estas condiciones, no se autoriza el uso de ningún contenido.

Índice

Presentación de la asignatura	8
Resultados del aprendizaje.....	8
UNIDAD 1.....	9
1. Fundamentos del control eléctrico industrial.....	9
1.1 Concepto de control eléctrico industrial	10
1.2 Lógica cableada y relación entre circuito de fuerza y circuito de control.....	10
1.2.1 Lógica cableada	10
1.2.2 Relación entre circuito de fuerza y circuito de control	10
1.3 Divisiones funcionales del control eléctrico industrial	12
1.3.1 Seccionamiento	12
1.3.2 Protección	12
1.3.3 Conmutación.....	12
1.3.4 Indicación y señalización.....	12
1.4 Normativa y simbología aplicada al control industrial	13
1.4.1 Sistema IEC	13
1.4.2 Sistemas alternativos.....	13
1.4.3 Principios generales de representación gráfica	13
1.4.4 Numeración de contactos y dispositivos.....	14
1.5 Contactos y estados funcionales	14
1.5.1 Contacto normalmente abierto	15
1.5.2 Contacto normalmente cerrado	15
1.5.3 Estado físico y estado funcional.....	15
1.5.4 Contactos instantáneos y pulsantes	16
1.5.5 Contactos de potencia y contactos auxiliares.....	16
1.6 Naturaleza de las fallas eléctricas	16
1.6.1 Sobrecorriente	16
1.6.1.1 Cortocircuito	16
1.6.1.2 Sobrecarga.....	17
1.6.1.3 Falla a tierra	17
1.6.2 Anomalías de tensión.....	17
1.6.2.1 Sobrevoltaje	18

1.6.2.2 Subtensión.....	18
UNIDAD 2.....	19
2. Dispositivos del control eléctrico industrial.....	19
2.1 Dispositivos de seccionamiento	19
2.1.1 Interruptor seccionador	19
2.1.2 Seccionador rotativo	20
2.1.3 Interruptor principal	20
2.2 Dispositivos de protección.....	20
2.2.1 Fusible IEC y portafusible	20
2.2.2 Interruptor magnetotérmico	20
2.2.3 Interruptor diferencial	21
2.2.4 Guardamotor	21
2.2.5 Relé térmico	21
2.3 Dispositivos de conmutación	22
2.3.1 Contactores	22
2.3.1.1 Funcionamiento del contactor.....	22
2.3.1.2 Partes del contactor	23
2.3.1.3 Tipos de contactores y tensiones de bobina	23
2.3.2 Relés electromecánicos.....	23
2.3.4 Telerruptor	24
2.3.5 Dispositivos de mando manual	24
2.4 Dispositivos de indicación	25
2.4.1 Pilotos	25
2.4.2 Zumbadores.....	25
2.5 Elementos complementarios	26
2.5.1 Transformador de control.....	26
2.5.2 Borneras y canalización	26
UNIDAD 3.....	27
3. Circuito de fuerza en sistemas de control industrial	27
3.1 Función y características del circuito de fuerza	28
3.2 Componentes esenciales del circuito de fuerza.....	28
3.2.1 Seccionamiento.....	28
3.2.2 Protección	29

3.2.3 Conmutación mediante contactor.....	29
3.3 Consideraciones de diseño en el circuito de fuerza	29
3.3.1 Capacidad de conducción de corriente.....	29
3.3.2 Selección de conductores	30
3.3.3 Coordinación de protecciones	30
3.3.4 Seguridad operacional.....	30
3.4 Caso base de estudio	30
3.4.1 Condición inicial.....	31
3.4.2 Activación mediante el contacto principal.....	31
3.4.3 Establecimiento del régimen permanente	31
3.4.4 Interrupción del suministro	31
UNIDAD 4.....	33
4. Circuito de control en sistemas de lógica cableada.....	33
4.1 Elementos esenciales del circuito de control	34
4.2 Control fundamental mediante dispositivos de mando	34
4.2.1 Uso del interruptor	34
4.2.2 Uso del pulsador normalmente abierto	34
4.3 El control como distribuidor de señales hacia distintos dispositivos	35
4.4 Pulsador de paro normalmente cerrado.....	35
4.5 Integración básica del circuito de control	35
Referencias Bibliográficas	37

Presentación de la asignatura

La asignatura Control Eléctrico Industrial se orienta al estudio sistemático de los principios, dispositivos y configuraciones que permiten gobernar, proteger y supervisar procesos eléctricos en entornos industriales. Su contenido integra fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas de la lógica cableada, el circuito de fuerza y el circuito de control, constituyendo la base técnica para la comprensión del funcionamiento de motores, sistemas de arranque, protección y señalización.

Mediante el desarrollo de esta asignatura, el estudiante adquiere competencias para interpretar diagramas eléctricos normalizados, seleccionar dispositivos de maniobra y protección conforme a normas internacionales, y estructurar esquemas de control seguros y funcionales. La formación obtenida permite comprender la relación entre mando, control y potencia como eje del diseño de sistemas industriales, fortaleciendo la capacidad de análisis, diagnóstico y diseño de maniobras eléctricas aplicadas a procesos reales.

Esta asignatura aporta una preparación sólida para el desempeño técnico en mantenimiento, montaje y diseño de tableros eléctricos industriales, constituyéndose en un componente esencial dentro de la formación profesional de la carrera, al vincular el conocimiento teórico con la práctica operativa requerida por el sector productivo.

Resultados del aprendizaje

Analizar los fundamentos del control eléctrico industrial mediante la aplicación de principios de lógica cableada, identificando la función de los dispositivos de seccionamiento, protección, conmutación e indicación en sistemas industriales.

Interpretar diagramas eléctricos normalizados de control y fuerza empleando simbología IEC, con el fin de comprender y documentar maniobras industriales de forma técnica y estandarizada.

Seleccionar y dimensionar dispositivos de protección y maniobra considerando criterios normativos, corrientes nominales, condiciones de arranque y requerimientos de seguridad operacional.

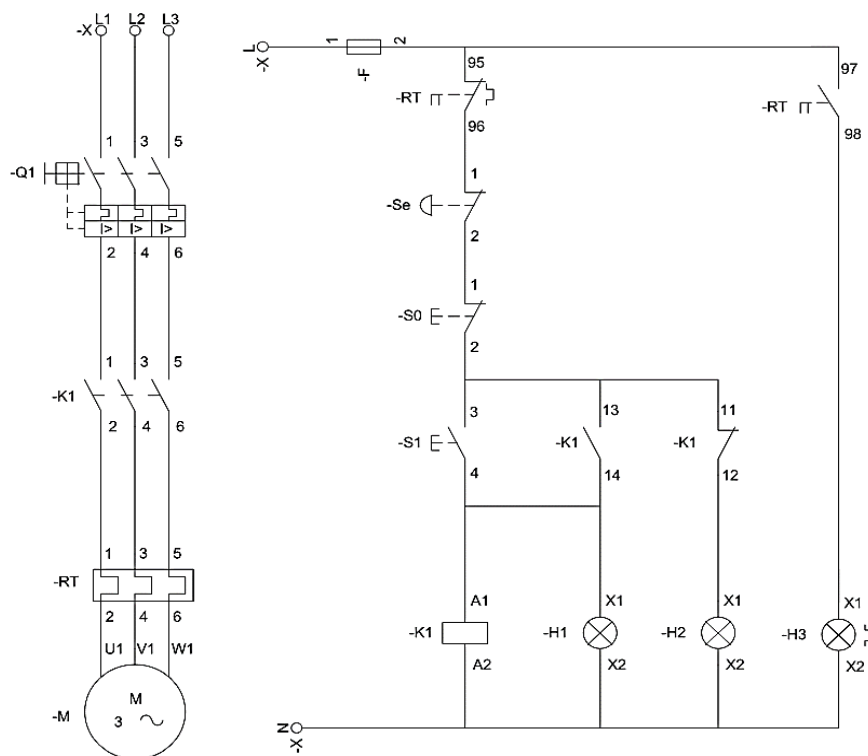
UNIDAD 1

1. Fundamentos del control eléctrico industrial

El control eléctrico industrial comprende el conjunto de técnicas, dispositivos y esquemas destinados a gobernar el funcionamiento de máquinas, motores y sistemas técnicos por medio de señales eléctricas. Su finalidad es garantizar que los procesos se desarrollen de manera segura, confiable y eficiente, mediante el mando, la protección y la supervisión de las cargas eléctricas que intervienen en la instalación (Wildi, 2006).

En este contexto, el control se apoya en una estructura organizada de dispositivos de seccionamiento, protección, conmutación e indicación, conectados a través de conductores que establecen la lógica de funcionamiento. Esta lógica, cuando se implementa mediante conexiones físicas y contactos eléctricos, se denomina lógica cableada y constituye la base histórica del control industrial, aun en entornos donde coexiste con tecnologías programables como PLC y variadores de frecuencia (Bolton, 2015).

Figura 1. Esquema conceptual de la relación entre mando, fuerza y control



1.1 Concepto de control eléctrico industrial

El control eléctrico industrial puede entenderse como la aplicación sistemática de dispositivos eléctricos para iniciar, mantener, modificar o detener el funcionamiento de equipos de forma controlada. En una planta industrial, esta función abarca desde la puesta en marcha de un motor hasta la coordinación de múltiples actuadores en una línea de producción, respetando condiciones de seguridad, secuencias de operación y parámetros de proceso (Wildi, 2006).

Un sistema de control bien diseñado permite que las maniobras de encendido y apagado se ejecuten de forma repetible, que las fallas se detecten y aislen, y que el operador disponga de información sobre el estado de la instalación. La calidad del control influye de manera directa en la productividad, la vida útil de los equipos y la seguridad de las personas (Chapman, 2012).

1.2 Lógica cableada y relación entre circuito de fuerza y circuito de control

1.2.1 Lógica cableada

La lógica cableada es el modelo en el cual las funciones de control se implementan mediante la interconexión física de contactos, bobinas y otros dispositivos eléctricos. Cada condición de operación se obtiene a partir de la manera en que se combinan contactos normalmente abiertos, normalmente cerrados, contactos auxiliares y elementos de mando, sin recurrir a programación sino a la propia configuración del cableado (Floyd, 2015).

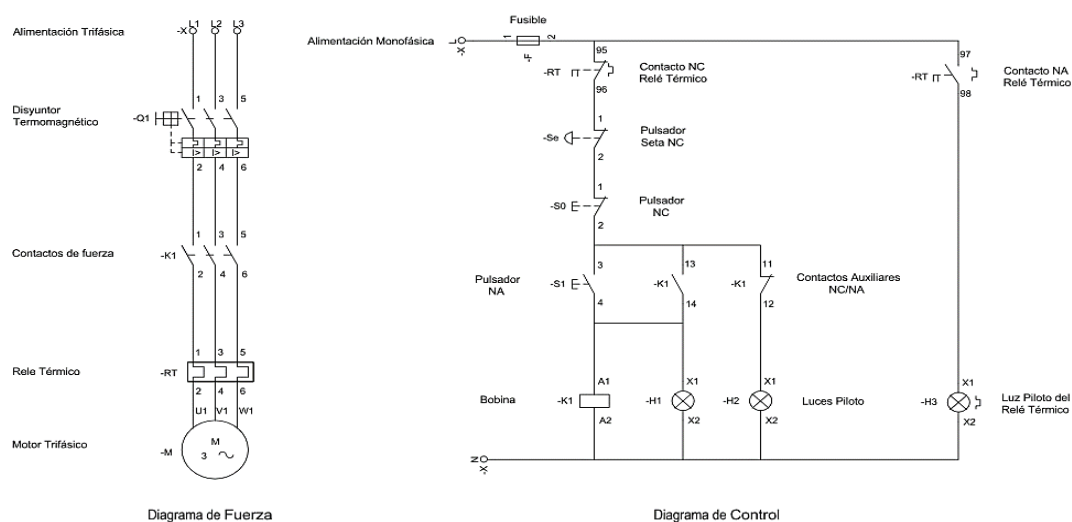
Este enfoque obliga a pensar el control en términos de caminos de corriente, condiciones de cierre y apertura, y secuencias de actuación de los elementos. Por esta razón, el estudio de la lógica cableada es un paso formativo indispensable antes de abordar tecnologías programables, ya que proporciona una comprensión profunda de cómo se materializa físicamente una maniobra.

1.2.2 Relación entre circuito de fuerza y circuito de control

En el ámbito industrial se distingue entre circuito de fuerza y circuito de control. El circuito de fuerza es el encargado de transportar la energía hacia la carga, por ejemplo, un motor, una resistencia o un transformador. En este circuito se ubican conductores, dispositivos de protección de potencia, contactores y, en general, elementos dimensionados para corrientes elevadas. Este circuito constituye el punto de partida en el proceso de diseño, ya que es el encargado de dar solución a la problemática planteada.

El circuito de control, en cambio, opera con corrientes y tensiones menores, y tiene como misión gobernar el momento y las condiciones en las que el circuito de fuerza se energiza o se desenergiza. De este modo, un pulsador, un relé o un contacto auxiliar no alimentan directamente al motor, sino que controlan la bobina de un contactor que establece o interrumpe el paso de la corriente de fuerza (Fitzgerald, Kingsley y Umans, 2003). La separación entre fuerza y control incrementa la seguridad, simplifica la operación y permite centralizar la lógica de mando en tableros de baja energía. Durante la etapa de diseño, el circuito de control suele elaborarse después de definir el circuito de fuerza, ya que es a través del circuito de control que se gestiona el funcionamiento del circuito de fuerza. No obstante, en la fase de implementación, el proceso se inicia generalmente con el montaje del circuito de control, seguido por la instalación del circuito de fuerza.

Figura 2. Relación entre circuito de fuerza y circuito de control



1.3 Divisiones funcionales del control eléctrico industrial

La gran variedad de dispositivos empleados en control industrial puede organizarse en grupos funcionales que facilitan su estudio y la interpretación de esquemas. De forma general, se distinguen cuatro conjuntos principales de elementos, de acuerdo con la función que cumplen dentro del sistema (IEC, 2023).

1.3.1 Seccionamiento

El seccionamiento corresponde a la capacidad de aislar eléctricamente un circuito para permitir trabajos de mantenimiento, verificación o reparación sin riesgo. Los dispositivos de seccionamiento deben garantizar una apertura visible o verificable de la trayectoria de corriente y soportar las condiciones de tensión presentes en la instalación. Esta función está regulada por IEC 60947-3, que establece requisitos para interruptores seccionadores y dispositivos similares (IEC, 2020).

1.3.2 Protección

La protección eléctrica busca limitar los efectos de fallas o condiciones anómalas, evitando daños graves en equipos y reduciendo riesgos para el personal. Para ello se emplean fusibles, interruptores automáticos, guardamotores y relés térmicos, entre otros. Su dimensionamiento debe considerar las corrientes nominales, las posibles sobrecorrientes y las características de la carga (IEEE, 2018).

1.3.3 Conmutación

La conmutación agrupa los dispositivos que permiten establecer o interrumpir el paso de corriente como parte normal de la operación. En este grupo se incluyen contactores, relés de mando, interruptores, pulsadores y finales de carrera. Estos elementos hacen posible implementar funciones de arranque, paro, cambio de estado y secuencias lógicas por medio de contactos eléctricos (Wildi, 2006).

1.3.4 Indicación y señalización

La indicación se refiere a los dispositivos que informan al operador sobre el estado del sistema. Luces piloto, zumbadores y otros indicadores de panel permiten conocer si un equipo está energizado, si existe una alarma o si se ha producido un disparo de protección. Una señalización clara y coherente con los colores y códigos recomendados mejora la supervisión y contribuye a la seguridad (Bolton, 2015).

1.4 Normativa y simbología aplicada al control industrial

1.4.1 Sistema IEC

La Comisión Electrotécnica Internacional establece normas que definen símbolos, características y requisitos de los dispositivos utilizados en control y maniobra. En particular, IEC 60617 recoge la simbología gráfica para diagramas, mientras que la serie IEC 60947 aborda el equipamiento de baja tensión, incluyendo interruptores, contactores, relés térmicos y otros elementos de control (IEC, 2023). El uso de estas normas permite que los diagramas sean legibles en diferentes países y contextos industriales.

1.4.2 Sistemas alternativos

Además del sistema IEC, existen otros esquemas de normalización, como NEMA en Norteamérica y DIN en el entorno europeo. Estos sistemas pueden presentar diferencias en la forma de los símbolos, la nomenclatura y la forma de identificar terminales, aunque la función técnica de los dispositivos sea equivalente (NEMA, 2022). Resulta útil que el estudiante reconozca la existencia de estas variantes para poder interpretar documentación proveniente de distintos fabricantes o regiones.

1.4.3 Principios generales de representación gráfica

La representación gráfica de circuitos debe ser clara y consistente. Los símbolos adoptados deben respetar IEC 60617 para evitar ambigüedades. La disposición espacial entre circuitos de fuerza y control responde a convenciones de ingeniería y a normas de instalaciones de máquinas, donde con frecuencia la potencia se define primero y se separa gráficamente del control, ya sea mediante esquemas

independientes o mediante una ubicación diferenciada dentro del plano, manteniendo siempre coherencia de lectura (IEC, 2023).

1.4.4 Numeración de contactos y dispositivos

La numeración de contactos y bornes permite identificar la función de cada elemento dentro de un esquema. En el caso de contactores y relés, los contactos auxiliares normalmente abiertos se identifican con numeraciones del tipo trece y catorce, mientras que los normalmente cerrados se asocian a once y doce. Los contactos principales de potencia suelen identificarse en pares sucesivos, como uno y dos, tres y cuatro, cinco y seis, de acuerdo con la norma IEC (IEC, 2023). Esta codificación facilita el cableado, el mantenimiento y la lectura de diagramas complejos.

1.5 Contactos y estados funcionales

Los contactos constituyen el elemento físico fundamental a partir del cual se implementan las funciones lógicas en los sistemas de control industrial. Su apertura o cierre define trayectorias de corriente que representan condiciones de habilitación, bloqueo, enclavamiento o secuenciación. Este comportamiento depende del tipo de contacto normalmente abierto o normalmente cerrado, del dispositivo que los acciona como relés, contactores, pulsadores o finales de carrera y de la forma en que se interconectan dentro del circuito. En la práctica influyen además factores como la resistencia de contacto, el desgaste por conmutación, la formación de arco eléctrico y el envejecimiento de los materiales, aspectos que afectan la confiabilidad del sistema y deben ser considerados en aplicaciones industriales exigentes.

La combinación de contactos en serie y en paralelo permite materializar operaciones equivalentes a las puertas lógicas fundamentales y estructuras más complejas de auto retención, interbloqueo eléctrico y control secuencial, que siguen siendo la base de muchos esquemas de mando incluso cuando se emplean controladores programables. Su correcta selección y representación en los diagramas debe alinearse con criterios normativos promovidos por la International Electrotechnical Commission y con buenas prácticas de ingeniería, garantizando que el estado en reposo, la función asignada y la relación con los

circuitos de potencia queden claramente identificados para facilitar la operación, el mantenimiento y la seguridad del sistema.

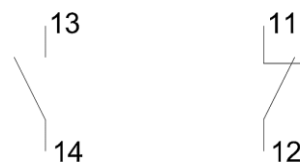
1.5.1 Contacto normalmente abierto

El contacto normalmente abierto permanece abierto mientras no se produzca la acción que lo modifica. Cuando el dispositivo actuante, por ejemplo, una bobina o un mecanismo mecánico, entra en servicio, el contacto se cierra y permite el paso de corriente. Este tipo de contacto se utiliza de forma habitual en funciones de arranque, mando y señalización positiva (Floyd, 2015).

1.5.2 Contacto normalmente cerrado

El contacto normalmente cerrado presenta el camino de corriente cerrado en estado de reposo. Al actuar el dispositivo, el contacto se abre e interrumpe el flujo de corriente. Este comportamiento es especialmente útil en funciones de paro, seguridad y condiciones de falla, ya que la interrupción de la alimentación se produce al cambiar el estado de la señal (Bolton, 2015).

Figura 3. Contactos normalmente abierto (NO) y normalmente cerrado (NC)



1.5.3 Estado físico y estado funcional

El estado físico describe la posición real de las partes móviles del contacto, mientras que el estado funcional se refiere a la condición que el contacto representa en el circuito. En el diseño de maniobras es importante distinguir si un contacto se considera normalmente abierto o cerrado con respecto a la condición normal del sistema, más allá de la posición momentánea en la que se encuentre durante una operación.

1.5.4 Contactos instantáneos y pulsantes

Los contactos instantáneos son aquellos que cambian de estado únicamente mientras se mantiene la acción mecánica, como en un pulsador de marcha. Al dejar de ejercer presión, el contacto vuelve a su posición inicial. Este comportamiento permite generar impulsos que activan o disparan secuencias sin necesidad de mantener la acción del operador (Floyd, 2015).

1.5.5 Contactos de potencia y contactos auxiliares

Los contactos de potencia están diseñados para conducir corrientes elevadas, generalmente asociadas a cargas como motores o resistencias. Por su parte, los contactos auxiliares soportan corrientes menores y se emplean para transmitir señales de control, memorizar estados o implementar enclavamientos. Esta distinción es fundamental al dimensionar circuitos y seleccionar dispositivos, pues cada tipo de contacto dispone de características constructivas y límites de corriente distintos (IEC, 2020).

1.6 Naturaleza de las fallas eléctricas

Las instalaciones eléctricas pueden verse afectadas por distintas fallas que alteran las condiciones normales de operación. Comprender la naturaleza de estas fallas es fundamental para seleccionar adecuadamente los dispositivos de protección y diseñar esquemas de control seguros.

1.6.1 Sobrecorriente

Se denomina sobrecorriente a toda condición en la cual la corriente que circula por un circuito supera los valores previstos para su operación normal. Dentro de este fenómeno se incluyen el cortocircuito, la sobrecarga y la falla a tierra, cada uno con características y efectos distintos (IEEE, 2018).

1.6.1.1 Cortocircuito

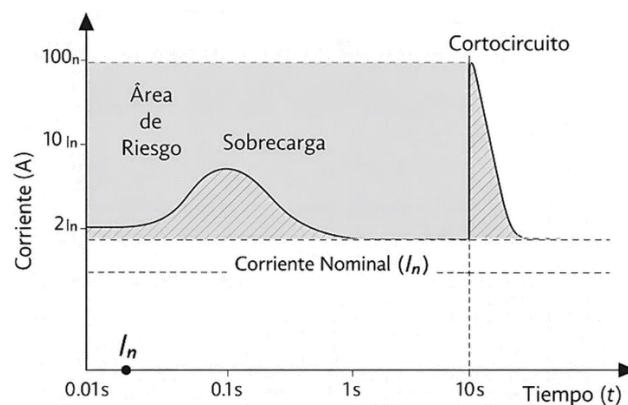
El cortocircuito se produce cuando dos puntos del circuito que deberían mantener una diferencia de potencial quedan unidos por una impedancia muy baja, lo que genera corrientes de gran magnitud. Este

tipo de falla puede ocasionar daños severos en conductores, dispositivos y equipos, por lo que la actuación rápida de fusibles o interruptores automáticos es esencial (IEEE, 2018).

1.6.1.2 Sobrecarga

La sobrecarga aparece cuando la corriente aumenta de forma sostenida por encima de la corriente nominal del equipo, usualmente debido a esfuerzos mecánicos excesivos, bloqueos de motor o funcionamiento prolongado por encima de la capacidad para la cual fue diseñado. Esta condición origina calentamiento progresivo y, si no se corrige, puede derivar en daños en el aislamiento y reducción de la vida útil del equipo (Chapman, 2012).

Figura 4. Representación sobrecarga y cortocircuito



1.6.1.3 Falla a tierra

La falla a tierra se presenta cuando la corriente encuentra un camino no previsto hacia el sistema de puesta a tierra, ya sea por deterioro del aislamiento, contaminación, presencia de humedad o daño mecánico de los conductores. Aunque en algunos casos la corriente de falla puede ser limitada, se trata de una condición peligrosa que requiere detección y actuación adecuada, tanto para proteger al equipo como a las personas (IEC, 2023).

1.6.2 Anomalías de tensión

Además de las sobrecorrientes, las instalaciones pueden enfrentar anomalías de tensión, como sobrevoltajes y subtensiones, que también afectan el desempeño del sistema.

1.6.2.1 Sobrevoltaje

El sobrevoltaje corresponde a tensiones superiores a los valores nominales de la instalación. Puede originarse por maniobras, desconexiones bruscas de cargas inductivas o problemas de regulación de la red. Este fenómeno acelera el envejecimiento del aislamiento y aumenta el riesgo de fallas (Wildi, 2006).

1.6.2.2 Subtensión

La subtensión se manifiesta cuando la tensión cae por debajo de los valores normales. En el caso de motores, esta condición puede incrementar la corriente absorbida para mantener el par requerido, lo que conduce a calentamientos adicionales y posibles disparos de protección (Chapman, 2012). Por ello, la supervisión de la tensión y la actuación de dispositivos de protección adecuados forman parte integral del diseño de sistemas de control industrial.

UNIDAD 2

Dispositivos principales del control eléctrico industrial

2. Dispositivos del control eléctrico industrial

Los dispositivos del control eléctrico industrial se organizan en cuatro grandes grupos funcionales: seccionamiento, protección, conmutación e indicación. Cada grupo aporta funciones específicas que permiten construir maniobras, garantizar la seguridad de la instalación y asegurar que los equipos operen dentro de parámetros adecuados. En esta unidad se presentan los dispositivos esenciales que forman parte de sistemas de lógica cableada, los cuales permiten implementar el caso base de arranque de motor y maniobras más complejas.

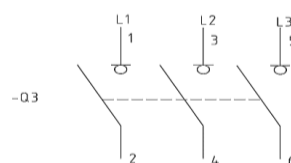
2.1 Dispositivos de seccionamiento

Los dispositivos de seccionamiento cumplen la función de aislar eléctricamente un circuito. Su utilización es necesaria para garantizar condiciones seguras de mantenimiento, intervención o desconexión de un sistema. Según IEC 60947-3, estos dispositivos deben permitir una apertura verificable que asegure la ausencia de tensión en la parte aislada (IEC, 2020).

2.1.1 Interruptor seccionador

El interruptor seccionador es un dispositivo capaz de abrir un circuito bajo condiciones normales de operación y generar una separación visible entre sus contactos. Su función principal es permitir la desconexión de un tablero, línea o equipo para garantizar seguridad durante intervenciones.

Figura 5. Interruptor Seccionador.



2.1.2 Seccionador rotativo

El seccionador rotativo emplea un mecanismo giratorio para abrir o cerrar el circuito. Se utiliza en tableros donde se requiere maniobra frontal, una clara indicación de posición y eventualmente un dispositivo de enclavamiento que impida operar el seccionador cuando la puerta del tablero está abierta.

2.1.3 Interruptor principal

El interruptor principal constituye el punto de desconexión general del tablero y debe instalarse de forma que permita aislar todo el sistema. Su capacidad de corriente debe ajustarse a la capacidad total del circuito y cumplir con requisitos de accesibilidad y señalización.

2.2 Dispositivos de protección

Los dispositivos de protección limitan los efectos de fallas como cortocircuitos, sobrecargas o fallas a tierra. Su correcto dimensionamiento evita daños en los equipos y reduce riesgos para personas. La IEC 60947 establece criterios para su selección y comportamiento (IEC, 2020).

2.2.1 Fusible IEC y portafusible

El fusible es un elemento capaz de interrumpir el circuito mediante la fusión de un conductor interno cuando la corriente excede el valor permitido. El portafusible proporciona el soporte mecánico y aislamiento adecuado. Este tipo de protección es rápida y eficaz ante cortocircuitos.

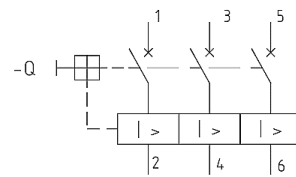
Figura 6. Fusible, interruptor portafusible



2.2.2 Interruptor magnetotérmico

El interruptor magnetotérmico integra dos mecanismos de disparo: uno térmico para protección ante sobrecargas y otro magnético para detección de cortocircuitos. Es uno de los dispositivos de protección más empleados en tableros de baja tensión debido a su capacidad de reconexión y su acción rápida ante fallas severas (IEEE, 2018).

Figura 7. Interruptor magnetotérmico



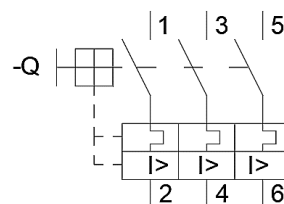
2.2.3 Interruptor diferencial

El interruptor diferencial detecta corrientes de fuga a tierra y desconecta el circuito cuando el desequilibrio entre las corrientes de fase y neutro supera un valor determinado. Su función principal es la protección de personas contra contactos indirectos (IEC, 2023).

2.2.4 Guardamotor

El guardamotor es un interruptor diseñado específicamente para motores. Proporciona protección magnetotérmica ajustable, permitiendo un disparo adecuado ante sobrecargas o cortocircuitos. Su capacidad de manejo de corriente está normada en IEC 60947-4-1 y constituye la primera línea de protección del motor (IEC, 2020).

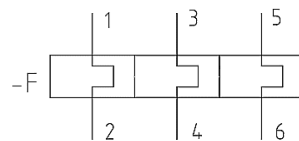
Figura 8. Guardamotor



2.2.5 Relé térmico

El relé térmico protege al motor ante sobrecargas prolongadas. Su funcionamiento se basa en una lámina bimetálica que se deforma al aumentar la temperatura, provocando la apertura de un contacto normalmente cerrado que detiene el motor. Su uso es complementario al contactor y forma parte de la maniobra de fuerza (Chapman, 2012).

Figura 9. Relé térmico



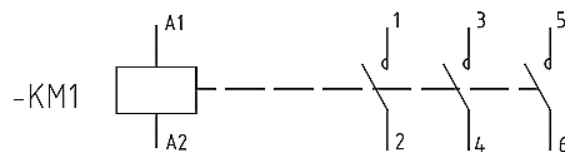
2.3 Dispositivos de conmutación

Los dispositivos de conmutación permiten establecer o interrumpir la circulación de corriente con fines operativos. Son esenciales en cualquier maniobra eléctrica, desde el simple encendido de un motor hasta secuencias más complejas.

2.3.1 Contactores

El contactor es un dispositivo electromecánico diseñado para establecer o interrumpir el paso de corriente en un circuito de potencia mediante la acción de una bobina (Wildi, 2006). Su robustez, capacidad de maniobra y amplia disponibilidad lo convierten en el elemento central del control de motores.

Figura 10. Contactor Industrial



2.3.1.1 Funcionamiento del contactor

El contactor actúa a partir de la creación de un campo magnético en su bobina. Al energizarla, el núcleo móvil es atraído y sus contactos principales se cierran, permitiendo el paso de corriente hacia la carga. Cuando la bobina se desenergiza, un resorte devuelve los contactos a su posición inicial. Este funcionamiento rápido y repetitivo permite miles de maniobras sin deterioro significativo (IEC, 2020).

2.3.1.2 Partes del contactor

Las partes fundamentales del contactor son la bobina, el núcleo fijo y móvil, los contactos principales, los contactos auxiliares, la cámara de extinción de arco y los terminales de conexión. Los contactos auxiliares permiten implementar lógica de memorización y enclavamientos, mientras que los contactos principales conectan el motor al circuito de fuerza.

2.3.1.3 Tipos de contactores y tensiones de bobina

Los contactores pueden ser tripolares, tetrapolares o compactos, según la aplicación. Las bobinas se fabrican para tensiones típicas como 24 VDC, 24 VAC, 110 VAC, 220 VAC o 380 VAC, lo cual permite adecuar el control a la disponibilidad energética del tablero.

2.3.2 Relés electromecánicos

El relé es un dispositivo que permite activar uno o varios contactos mediante una señal eléctrica de baja potencia. Su función es amplificar, modificar o transferir señales dentro del circuito de control.

Los tipos esenciales son:

- Relé SPDT
- Relé DPDT
- Relé intermedio

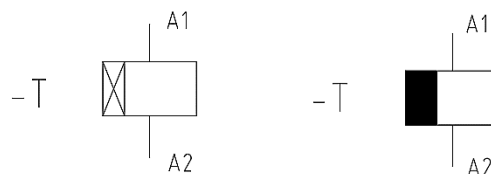
2.3.3 Relés temporizados

Los relés temporizados permiten retrasar la activación o desactivación de una señal. Los tipos más comunes son:

- ON–delay
- OFF–delay
- Relé de intervalo

Estos dispositivos permiten secuencias como ventilar antes de arrancar o esperar una condición antes de energizar un circuito (Bolton, 2015).

Figura 11. On Delay, Off Delay



2.3.4 Telerruptor

El telerruptor es un relé impulsional que cambia de estado cada vez que recibe un pulso. Su funcionamiento biestable permite mantener un circuito cerrado sin necesidad de mantener energizada una bobina, a diferencia de la auto–retención. Es empleado en alumbrado y maniobras sencillas de control manual.

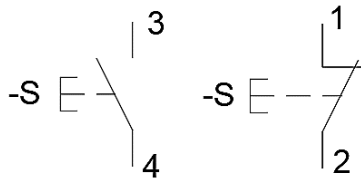
2.3.5 Dispositivos de mando manual

Los dispositivos de mando permiten al operador interactuar con la maniobra. Los principales son:

Pulsador NA

- Pulsador NC
- Pulsador de emergencia tipo seta
- Interruptor unipolar o bipolar
- Selector de posiciones
- Final de carrera mecánico

Figura 10. Pulsadores NA/NC



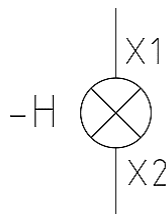
2.4 Dispositivos de indicación

Los dispositivos de indicación permiten comunicar al operador el estado del sistema y constituyen un elemento esencial de la supervisión.

2.4.1 Pilotos

Los pilotos se utilizan para indicar condiciones como marcha, paro o falla. Las normas recomiendan emplear colores de uso estándar, como verde para marcha y rojo para paro o fallo (IEC, 2023).

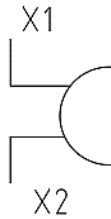
Figura 12. Luces Piloto



2.4.2 Zumbadores

El zumbador proporciona una señal sonora que advierte al operador de condiciones anómalas o la necesidad de intervenir. Se suele emplear en conjunto con pilotos de señalización.

Figura 13. Zumbador



2.5 Elementos complementarios

Los elementos complementarios facilitan el montaje y la alimentación del circuito.

2.5.1 Transformador de control

El transformador de control reduce la tensión de la red a valores adecuados para el circuito de mando, como 24 V o 48 V. Su función es mejorar la seguridad del operador y evitar el uso de tensiones elevadas en el control (Floyd, 2015).

2.5.2 Borneras y canalización

Las borneras permiten organizar las conexiones y garantizar un cableado ordenado. Los ductos y canaletas protegen los conductores y estructuran el tablero de control, lo cual mejora la seguridad y el mantenimiento.

UNIDAD 3

Circuito de fuerza para arranque directo

3. Circuito de fuerza en sistemas de control industrial

El circuito de fuerza constituye la parte del sistema eléctrico encargada de transportar la energía necesaria hacia la carga, ya sea un motor, una resistencia industrial, un transformador, un electroimán u otro equipo alimentado directamente desde la red. En aplicaciones industriales, este circuito representa el camino principal por el cual fluye la potencia hacia el proceso productivo, por lo que su concepción debe asegurar niveles adecuados de seguridad, confiabilidad y continuidad de servicio. Asimismo, debe ser capaz de soportar tanto las corrientes en régimen permanente como los esfuerzos térmicos y electromecánicos producidos por transitorios de arranque, sobrecargas temporales o variaciones bruscas en las condiciones de operación (Wildi, 2006).

A diferencia del circuito de control, que opera con tensiones y corrientes reducidas destinadas a gobernar la maniobra, el circuito de fuerza maneja niveles energéticos elevados y concentra los elementos directamente vinculados con la conducción y la interrupción de la potencia. Por esta razón, incorpora dispositivos como interruptores automáticos, fusibles, contactores, relés térmicos y conductores dimensionados según normas técnicas reconocidas, con el fin de limitar fallas, proteger a las personas y evitar daños en los equipos. La correcta selección y coordinación de estos componentes resulta indispensable para garantizar un funcionamiento seguro y estable del sistema eléctrico industrial (Chapman, 2012).

Desde el punto de vista metodológico del diseño, el circuito de fuerza se elabora en primera instancia, ya que define cómo se suministrará la energía y cómo se resolverá la necesidad fundamental del proceso, como en el caso más sencillo de arrancar un motor eléctrico para accionar una máquina determinada. A partir de esta estructura de potencia se desarrolla posteriormente el circuito de control, encargado de ejecutar la secuencia de maniobra, supervisar el estado del sistema y permitir la automatización. Comprender esta jerarquía entre ambos circuitos es esencial antes de abordar esquemas específicos de

arranque o control, puesto que toda estrategia de automatización depende de una distribución y protección adecuadas de la energía en el circuito de fuerza.

3.1 Función y características del circuito de fuerza

La finalidad del circuito de fuerza es suministrar energía eléctrica de manera estable y segura a la carga. Para cumplir esta función, los dispositivos que lo componen deben soportar corrientes elevadas, disipar adecuadamente el calor generado y asegurar maniobras rápidas sin riesgo de arcos o daños en los contactos (IEC, 2020).

Un circuito de fuerza correctamente diseñado permite:

- Energizar y desenergizar cargas bajo condiciones controladas
- Soportar corrientes de arranque y corrientes nominales sin deterioro
- Evitar daños mediante protecciones adecuadas
- Interactuar correctamente con el circuito de control
- Garantizar seguridad para el personal y los equipos

En entornos industriales, el caso más representativo es el accionamiento de motores eléctricos trifásico; sin embargo, los mismos principios se aplican a cargas resistivas, inductivas y transformadores utilizados en procesos industriales (Wildi, 2006).

3.2 Componentes esenciales del circuito de fuerza

Los dispositivos empleados en el circuito de fuerza se agrupan según su función dentro de la trayectoria energética. De forma general, se consideran tres conjuntos principales: seccionamiento, protección y conmutación.

3.2.1 Seccionamiento

El seccionamiento es la capacidad de aislar eléctricamente el sistema para permitir un mantenimiento seguro. Este aislamiento se realiza mediante un seccionador o interruptor principal conforme a IEC 60947-3, que establece requisitos para asegurar una apertura visible y la resistencia eléctrica necesaria (IEC, 2020).

3.2.2 Protección

Los dispositivos de protección limitan los efectos de fallas y sobrecorrientes. En circuitos de fuerza, los elementos habituales son:

- Interruptor magnetotérmico o fusible, para cortocircuitos y sobrecorrientes
- Guardamotor, para protección específica de motores
- Relé térmico, para sobrecargas prolongadas
- Interruptor diferencial cuando se requiere protección ante fallas a tierra

Toda protección debe seleccionarse según la corriente nominal de la carga y las condiciones de instalación, manteniendo coordinación entre dispositivos (IEEE, 2018).

3.2.3 Conmutación mediante contactor

El contactor cierra o abre el circuito de fuerza mediante la acción de una bobina. Sus contactos principales están contruidos para soportar las corrientes de operación y los esfuerzos derivados del arranque de motores u otras cargas inductivas. La acción del contactor es controlada desde el circuito de mando, permitiendo realizar maniobras remotas, seguras y repetitivas (Wildi, 2006).

3.3 Consideraciones de diseño en el circuito de fuerza

El diseño adecuado del circuito de fuerza tiene un impacto directo en la seguridad, operatividad y vida útil de los equipos.

3.3.1 Capacidad de conducción de corriente

Los dispositivos deben seleccionarse considerando corrientes nominales, corrientes de arranque y ciclos de operación. Para motores, los contactores se seleccionan según categoría de utilización, siendo AC3 la adecuada para cargas de inducción con maniobra frecuente (IEC, 2020).

3.3.2 Selección de conductores

Los conductores deben tener capacidad térmica suficiente, cumplir requisitos de caída de tensión y adaptarse al método de instalación. Un dimensionamiento incorrecto puede causar calentamientos, pérdidas excesivas o fallas prematuras del aislamiento.

3.3.3 Coordinación de protecciones

La coordinación entre interruptor magnetotérmico, guardamotor y relé térmico debe asegurar que cada dispositivo actúe frente a la falla correspondiente. La selectividad mejora la confiabilidad del sistema y minimiza interrupciones innecesarias (IEEE, 2018).

3.3.4 Seguridad operacional

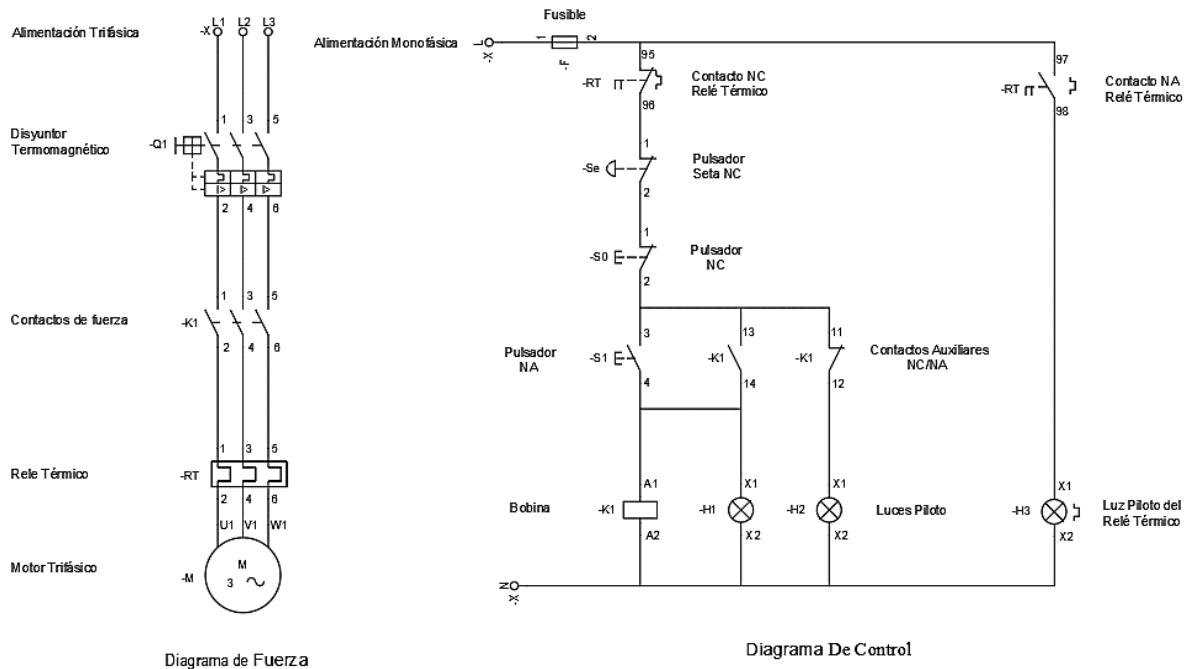
La disposición física de los dispositivos, la rotulación adecuada y el cumplimiento de distancias de seguridad forman parte esencial del diseño del circuito de fuerza. Además, debe garantizarse que no sea posible una energización accidental durante el mantenimiento.

3.4 Caso base de estudio

Arranque directo de motor

El arranque directo consiste en conectar la alimentación directamente a la carga mediante un contactor. Es la maniobra más simple y ampliamente utilizada en motores de pequeña y mediana potencia, y sirve como base para maniobras más complejas como inversión de giro, estrella-triángulo o control temporizado (Wildi, 2006).

Figura 14. Arranque Directo



3.4.1 Condición inicial

El seccionador está cerrado y la protección se encuentra habilitada. El contactor permanece abierto, por lo que la carga (motor u otro elemento) está sin tensión.

3.4.2 Activación mediante el contacto principal

Cuando el circuito de control energiza la bobina del contactor, los contactos principales se cierran y permiten la circulación de corriente hacia la carga. En motores, esta etapa produce un incremento transitorio de corriente debido al arranque (Chapman, 2012).

3.4.3 Establecimiento del régimen permanente

Tras superar la etapa de arranque, la corriente disminuye hasta alcanzar su valor nominal. El relé térmico supervisa la operación continua para evitar sobrecargas prolongadas que puedan deteriorar el equipo.

3.4.4 Interrupción del suministro

Cuando la bobina se desenergiza, el resorte interno abre los contactos principales y la carga queda desconectada. Esta maniobra debe ser rápida para evitar la formación de arcos eléctricos y garantizar la seguridad del sistema.

Figura 15. Diagrama de fuerza arranque directo motor trifásico

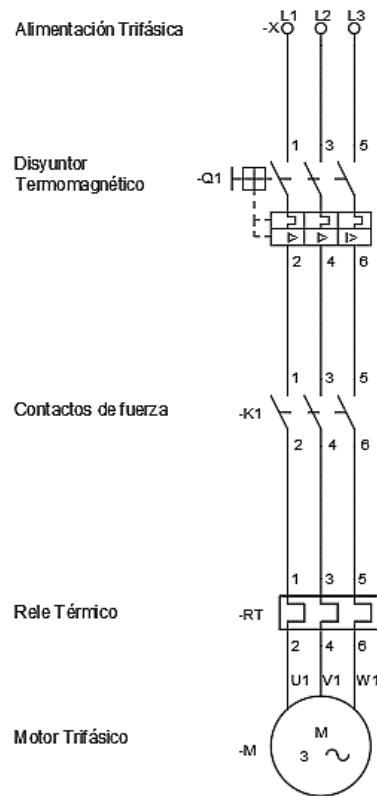


Diagrama de Fuerza

4.1 Elementos esenciales del circuito de control

El circuito de control se compone de elementos que permiten interactuar con la maniobra y definir las condiciones en las que se activan los dispositivos. Entre los componentes más utilizados se encuentran:

- Pulsadores e interruptores, empleados como entradas de operador
- Relés electromecánicos, que permiten ampliar o transformar señales
- Bobinas de contactores, encargadas de establecer o interrumpir el circuito de fuerza
- Dispositivos de señalización, como pilotos o zumbadores
- Temporizadores, que introducen retardos o secuencias de tiempo
- Transformador de control, que reduce la tensión a niveles seguros

La combinación de estos elementos permite estructurar un esquema flexible que gobierna el comportamiento del proceso industrial (Floyd, 2015).

4.2 Control fundamental mediante dispositivos de mando

4.2.1 Uso del interruptor

El interruptor constituye la forma más básica de control. Al cerrar el interruptor, el dispositivo ubicado aguas abajo se energiza; al abrirlo, se desenergiza. Aunque este método es funcional, resulta limitado para aplicaciones industriales debido a la ausencia de lógica secuencial y a su desgaste mecánico (Wildi, 2006).

4.2.2 Uso del pulsador normalmente abierto

El pulsador normalmente abierto permite establecer un contacto temporal mientras el operador mantiene presionada la tecla. Esta característica lo convierte en un elemento idóneo para generar señales momentáneas que inicien procesos, activen relés o generen respuestas puntuales en el sistema (Floyd, 2015). Su comportamiento es útil en maniobras manuales, pero por sí solo no permite mantener una salida activada después de soltarse.

4.3 El control como distribuidor de señales hacia distintos dispositivos

En sistemas industriales, el circuito de control no se limita a activar una única bobina. Su función consiste en distribuir señales hacia diferentes dispositivos que cumplen funciones complementarias dentro de la maniobra. Según las necesidades del proceso, el control puede energizar una variedad de elementos, entre ellos:

- Bobinas de contactores, que actúan sobre el circuito de fuerza
- Relés electromecánicos, que amplían contactos o proporcionan aislamiento
- Relés temporizados, que permiten establecer secuencias dependientes del tiempo
- Dispositivos de señalización, como pilotos o zumbadores
- Actuadores auxiliares de baja potencia, siempre que sean compatibles con la tensión del control

Esta capacidad de operar diversos dispositivos convierte al circuito de control en un sistema organizador, responsable de coordinar acciones, comunicar estados y preparar condiciones para la maniobra general (Bolton, 2015).

4.4 Pulsador de paro normalmente cerrado

El pulsador normalmente cerrado se utiliza para detener la acción de cualquier dispositivo gobernado por el control. En estado normal, el pulsador permite el paso de corriente hacia la bobina o hacia los elementos secundarios. Al presionarlo, abre el circuito y desenergiza inmediatamente los dispositivos conectados. Su uso garantiza un método simple, confiable y rápido para interrumpir la maniobra (Bolton, 2015).

4.5 Integración básica del circuito de control

La integración de los elementos descritos permite construir un circuito de control elemental en el que el operador actúa mediante un interruptor o un pulsador, y el circuito determina cuáles dispositivos deben energizarse según la configuración establecida. Esto incluye:

- Bobinas de contactores
- Relés auxiliares
- Elementos de señalización
- Dispositivos temporizados

Este tipo de integración constituye la base a partir de la cual se desarrollan maniobras más avanzadas, como lógicas cableadas secuenciales, temporizadas o interbloqueadas, que se abordarán en la unidad siguiente (Floyd, 2015).

Referencias Bibliográficas

Bolton, W. (2015). *Programmable logic controllers and industrial automation An introduction with control systems*. Newnes.

Chapman, S. J. (2012). *Electric machinery fundamentals* (5th ed.). McGraw Hill Education.

Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2003). *Electric machinery* (6th ed.). McGraw Hill.

Floyd, T. L. (2015). *Digital fundamentals* (11th ed.). Pearson Education.

IEEE Standards Association. (2018). *IEEE recommended practice for the design of reliable industrial and commercial power systems (IEEE Std 3007.2 2018)*. IEEE.

International Electrotechnical Commission. (2020). *Low voltage switchgear and controlgear Part 3 Switches disconnectors switch disconnectors and fuse combination units (IEC 60947 3)*. IEC.

International Electrotechnical Commission. (2020). *Low voltage switchgear and controlgear Part 4 1 Contactors and motor starters (IEC 60947 4 1)*. IEC.

International Electrotechnical Commission. (2023). *Graphical symbols for diagrams IEC 60617 database*. IEC.

International Electrotechnical Commission. (2023). *Low voltage switchgear and controlgear IEC 60947 series overview*. IEC.

National Electrical Manufacturers Association. (2022). *Industrial control and systems controllers and assemblies (ICS 1)*. NEMA.

Wildi, T. (2006). *Electrical machines drives and power systems* (6th ed.). Pearson Prentice Hall.

SUCRE



ISBN: 978-9942-590-14-5



 SUCREInstitutooficial  @SUCREInstituto  @SUCREInstituto