



**INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO PELILEO**

FUNDAMENTOS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS, INSTALACIONES Y SISTEMAS DE CONTROL



FUNDAMENTOS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS, INSTALACIONES Y SISTEMAS DE CONTROL

Directorio editorial institucional

<i>Dr. Rodrigo Mena Mg.</i>	<i>Rector</i>
<i>Mg. Sandra Cando</i>	<i>Coordinadora Institucional</i>
<i>Mg. Oscar Toapanta</i>	<i>Coordinador de I+D+i</i>
<i>Ing. Johanna Iza</i>	<i>Líder de Publicaciones</i>

Diseño y diagramación

Mg. Belén Chávez
Mg. Santiago Mayorga

TOMO 1 y 2

Revisión técnica de pares académicos

Mg. María Fernanda Oñate

IST PELILEO

Correo: mfonate@institutos.gob.ec

Ing. Ana Ramírez Rivera

IST PELILEO

Correo: adramirez@institutos.gob.ec

ISBN: 978-9942-686-27-5

Primera edición

Agosto 2024

<https://istp.edu.ec>

Usted es libre de compartir, copiar la presente guía en cualquier medio o formato, citando la fuente, bajo los siguientes términos: Debe dar crédito de manera adecuada, bajo normas APA vigentes, fecha, página/s. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma arbitraria sin hacer uso de fines de lucro o propósitos comerciales; debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar restricciones digitales que limiten legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia. Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



AUTOR



Ing. Johanna Iza, Mg.

DOCENTE

Ingeniera en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. He acumulado valiosa experiencia impartiendo cursos de robótica educativa, lo que ha permitido adquirir habilidades tanto técnicas como creativas, fundamentales en la automatización. Docente actualmente en el Instituto Superior Tecnológico Píleo carrera Electromecánica.



PRÓLOGO

El estudio de los circuitos eléctricos, instalaciones y sistemas de control es fundamental en el mundo moderno, donde la electricidad desempeña un papel central en prácticamente todas las áreas de la vida cotidiana y la industria. Desde el funcionamiento de dispositivos electrónicos básicos hasta la automatización de procesos industriales complejos, la electricidad y sus aplicaciones se han convertido en la columna vertebral de nuestra sociedad tecnológica.

El enfoque inicial es desarrollar una comprensión clara de los principios básicos de los circuitos eléctricos: leyes fundamentales como la Ley de Ohm, los teoremas de Kirchhoff y otros conceptos esenciales que permiten el análisis y diseño de sistemas eléctricos eficientes. A medida que se avanza, se introduce al lector en el mundo de las instalaciones eléctricas, desde la planificación hasta la implementación, abordando los estándares de seguridad y normativas actuales. Finalmente, se exploran los sistemas de control, donde la integración de tecnologías emergentes permite la automatización y el monitoreo de sistemas eléctricos, aumentando la eficiencia y seguridad.

El propósito de esta guía de estudio no es solo transmitir conocimientos técnicos, sino también despertar el interés por un campo tan dinámico como el de la electricidad y el control. A medida que los sistemas eléctricos y de control evolucionan, también lo hacen los desafíos que enfrentan los profesionales en esta área. Se espera que este texto no solo proporcione las herramientas necesarias para resolver problemas actuales, sino que también inspire la curiosidad y el deseo de seguir aprendiendo en un mundo cada vez más electrificado y automatizado.

El enfoque didáctico de esta guía está orientado a facilitar el aprendizaje autónomo mediante la inclusión de ejemplos prácticos, ejercicios resueltos y actividades que estimulan el pensamiento crítico.



**INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO PELILEO**

TOMO 1:

CIRCUITOS ELÉCTRICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Ing. Johanna Iza Mg.



CONTENIDOS

01

UNIDAD UNO CORRIENTE ELÉCTRICA

- 1.1. Fundamentos de la Electricidad
- 1.2. Corriente eléctrica
- 1.3. Conductores, aislantes y semiconductores.
- 1.4. Sistemas de generación de A.C más usados.
 - 1.4.1. Generación mediante alternadores
 - 1.4.2. Generación mediante transformadores
 - 1.4.3. Generación mediante inversores
- 1.5. Valores de la corriente eléctrica alterna.
 - 1.5.1. Forma de una señal Sinusoidal
 - 1.5.2. Valor Pico a Pico
 - 1.5.3. Valor RMS
 - 1.5.4. Frecuencia y Periodo
- 1.6. Simbología y Representación Gráfica
 - 1.6.1. Símbolos estándar para componentes eléctricos
 - 1.6.2. Representación gráfica de circuitos eléctricos
- 1.7. Magnitudes eléctricas, equipos de medición y herramientas fundamentales.
 - 1.7.1. Multímetro: uso y aplicaciones
 - 1.7.2. Osciloscopio: uso y aplicaciones

UNIDAD DOS LEYES ELECTROTÉCNICAS BÁSICAS

02

- 2. Leyes Electrotécnicas Básicas
 - 2.1. Ley de ohm
 - 2.2. Leyes de Kirchhoff.
 - 2.2.1. Ley de corrientes de Kirchhoff (LCK).
 - 2.2.2. Ley de tensiones de Kirchhoff (LVK).
 - 2.2.3. Aplicación de las leyes de Kirchhoff en el análisis de circuitos.
 - 2.3. Ley de Watt
 - 2.4. Análisis de circuitos en C.C y A.C
 - 2.5. Cálculo de la sección de conductores
 - 2.5.1. Circuitos Alimentadores y Derivados
 - 2.5.2. Circuitos de Alumbrado General
 - 2.5.3. Circuitos Receptáculos
 - 2.5.4. Cargas Especiales

CONTENIDOS

03

UNIDAD TRES

ELEMENTOS USADOS EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

- 3. Elementos Usados en las Instalaciones Eléctricas
 - 3.1. Cajas y tableros
 - 3.2. Elementos de maniobra y control
 - 3.2.1. Interruptores, pulsadores y selectores: tipos y aplicaciones.
 - 3.2.2. Contactores y relés
 - 3.2.3. Componentes de una acometida eléctrica.
 - 3.3. Acometidas y medidores

04

UNIDAD CUATRO

ESQUEMAS ELÉCTRICOS Y PRÁCTICAS

- 4. Esquemas Eléctricos y Prácticas
 - 4.1. Esquemas y diagramas eléctricos
 - 4.2. Plano eléctrico
 - 4.3. Aplicación en instalaciones eléctricas
 - 4.4. Normativas y códigos eléctricos para Instalaciones residenciales y comerciales.
 - 4.5. Seguridad en circuitos e instalaciones eléctricas.



01

CORRIENTE ELÉCTRICA

1.1. Fundamentos de la Electricidad

Los fundamentos de electricidad constituyen el núcleo del estudio de la electrónica y la ingeniería eléctrica. Comprender estos principios básicos que son esenciales para el diseño, análisis y aplicación de sistemas eléctricos y electrónicos.

La electricidad se manifiesta a través del movimiento de electrones en un conductor. Los conceptos fundamentales de la electricidad incluyen:

Carga Eléctrica: La propiedad de la materia que causa la interacción entre partículas a través de fuerzas eléctricas. Las cargas pueden ser positivas o negativas y se miden en coulombios (C).

Voltaje (Tensión): La diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. El voltaje, medido en voltios (V), es la

fuerza que impulsa a los electrones a moverse a través de un conductor.

Corriente Eléctrica: El flujo de carga eléctrica a través de un conductor. Se mide en amperios (A) y está determinada por la cantidad de carga que pasa por un punto en un circuito en un tiempo dado.

Resistencia: La oposición que presenta un material al flujo de corriente eléctrica. Se mide en ohmios (Ω) y depende de las propiedades del material, su longitud, y su área de sección transversal.

Potencia Eléctrica: La cantidad de energía transferida por unidad de tiempo en un circuito eléctrico. Se mide en vatios (W) y se calcula como el producto del voltaje y la corriente: $P = V \times I$

1.2. Corriente eléctrica

La corriente eléctrica se define como el movimiento de electrones en un circuito. Se mide en amperios (A) y es impulsada por una diferencia de potencial eléctrico, conocida como voltaje, que se mide en voltios (V).

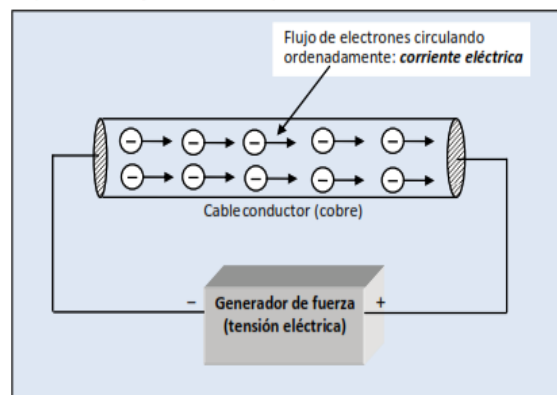


Figura 1 Circulación de la corriente eléctrica en un conductor.
Hermosa, A. (2013). Electrónica Aplicada



En la figura 1 se observa una representación del flujo de electrones circulando por un conductor.

Tipos de Corriente Eléctrica

Existen dos tipos principales de corriente eléctrica: la corriente continua (CC) y la corriente alterna (CA).

- **Corriente Continua (CC o DC):** El flujo de electrones se mantiene siempre en la misma dirección. Se representa con una línea recta y se obtiene de fuentes como baterías o pilas. Es

utilizada en dispositivos electrónicos de bajo consumo, como controles remotos, calculadoras y algunos vehículos eléctricos.

- **Corriente Alterna (CA o AC):** El flujo de electrones cambia periódicamente de dirección, oscilando alrededor de un valor cero. Se representa con una línea sinusoidal y se produce en generadores eléctricos. Es la corriente que llega a nuestros hogares y se utiliza en la mayoría de los dispositivos eléctricos y electrónicos.

1.3 Conductores, aislantes y semiconductores.

En el estudio de la electricidad y la electrónica, es esencial comprender la diferencia entre conductores, aislantes y semiconductores, ya que estos materiales tienen roles distintos en el diseño y funcionamiento de

1.3.1 Conductores:

Los conductores son materiales que permiten el flujo libre de electrones a través de ellos, facilitando así la conducción de electricidad. Los metales, como el cobre, el aluminio y la plata, son ejemplos típicos de conductores debido a su estructura atómica que permite a los electrones moverse fácilmente. Se utilizan en cables eléctricos, componentes electrónicos, y en sistemas de transmisión de energía.

Propiedades de los conductores: Los conductores tienen baja resistividad, alta conductividad eléctrica y térmica. Su estructura atómica

circuits eléctricos. Cada tipo de material tiene propiedades únicas que determinan cómo responde a la corriente eléctrica y, por lo tanto, cómo se utilizan en diversas aplicaciones tecnológicas.

incluye electrones libres que se mueven a través de una red de átomos metálicos.

- **Conductividad Eléctrica:** La conductividad eléctrica (σ) es una medida de la capacidad de un material para permitir el flujo de corriente eléctrica. Los conductores tienen alta conductividad, lo que significa que tienen una baja resistividad. La conductividad de un material es inversamente proporcional a su resistividad (ρ):



$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

- **Resistividad:** La resistividad es una propiedad intrínseca de los materiales que determina su oposición al flujo de corriente eléctrica. Los conductores tienen baja resistividad. La resistividad (ρ) de un material varía con la temperatura y la pureza del material. La resistividad se puede calcular usando la fórmula:

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

donde R es la resistencia, L es la longitud y A es el área de la sección transversal del conductor.

- **Estructura Atómica:** Los conductores típicamente tienen una estructura atómica que permite la movilidad libre de electrones. En los metales, los átomos están dispuestos en una red cristalina y los electrones de valencia están relativamente sueltos y libres para moverse a través de la estructura metálica.
- **Conductividad Térmica:** Los conductores no solo permiten el flujo de electricidad, sino que también son buenos conductores de calor. Esto se debe a la capacidad de los electrones libres para transferir energía térmica. La alta conductividad térmica es una característica importante en aplicaciones que involucran transferencia de calor.

1.3.2 Aislantes:

Los aislantes son materiales que impiden el flujo de electrones, proporcionando resistencia a la conducción de electricidad. Estos materiales tienen una alta resistividad y no permiten que los electrones se muevan libremente, siendo fundamentales para la protección y seguridad en sistemas eléctricos y electrónicos, evitando cortocircuitos y fugas de corriente. Se utilizan para recubrir cables eléctricos, en componentes electrónicos que requieren separación, y en la protección de dispositivos eléctricos.

Propiedades: Los aislantes tienen alta resistividad y baja conductividad eléctrica. Su estructura atómica no permite el movimiento libre de electrones.

1.3.3 Semiconductores:

Los semiconductores tienen una conductividad eléctrica que se encuentra entre la de los conductores y los aislantes. Su capacidad para conducir electricidad puede ser modificada por la temperatura, la luz, y el dopaje con impurezas. Son la base de dispositivos electrónicos como transistores, diodos, y circuitos integrados. Materiales comunes incluyen el silicio y el germanio.

Propiedades: Los semiconductores tienen resistividad que varía con la temperatura y la presencia de impurezas. La conductividad puede ser ajustada mediante el dopaje con elementos específicos.



1.4. Sistemas de generación de A.C más usados.

La generación de corriente alterna (A.C.) es un aspecto fundamental de la ingeniería eléctrica y la producción de energía. A diferencia de la corriente continua (D.C.), donde el flujo de electricidad es unidireccional, la corriente alterna cambia de dirección periódicamente. Este tipo de corriente es el más utilizado para la transmisión y distribución de electricidad en sistemas de potencia debido a sus ventajas en términos de eficiencia y facilidad de transformación de voltajes.

1.4.1. Generación Mediante Alternadores

Definición y Funcionamiento

Los alternadores son dispositivos que convierten la energía mecánica en energía eléctrica mediante la inducción electromagnética. Funcionan mediante la rotación de un rotor dentro de un estator, generando un campo magnético cambiante que induce una corriente alterna en las bobinas del estator.

Componentes Principales

- **Rotor:** Contiene el campo magnético y gira a alta velocidad. Puede ser un imán permanente o un electroimán alimentado por corriente continua.
- **Estator:** Contiene las bobinas donde se induce la corriente alterna. Está situado alrededor del rotor.

Características

- **Frecuencia y Voltaje:** La frecuencia de la corriente alterna generada depende de la velocidad de rotación del rotor y del número de polos en el alternador. Los alternadores están diseñados para generar energía con una frecuencia específica, como 50 Hz o 60 Hz.
- **Eficiencia:** Los alternadores son altamente eficientes y son utilizados en plantas de generación de energía para proporcionar electricidad a grandes redes.

Aplicaciones

- **Generación de Energía en Plantas:** Usados en centrales eléctricas para la producción de electricidad a gran escala.
- **Sistemas de Energía de Respaldo:** En generadores de emergencia y sistemas de respaldo para mantener el suministro eléctrico durante cortes.

1.4.2. Generación Mediante Transformadores

Definición y Funcionamiento

Los transformadores no generan corriente alterna, sino que transforman la tensión de la corriente alterna generada en las plantas de energía. Utilizan el principio de inducción electromagnética para cambiar el nivel de voltaje.



Componentes Principales

- **Núcleo:** Hecho de material ferromagnético que facilita la transferencia de energía entre los devanados.
- **Devanados Primarios y Secundarios:** Bobinas de alambre enrolladas alrededor del núcleo. La tensión aplicada al devanado primario induce una tensión en el devanado secundario.

Características

- **Relación de Transformación:** La relación entre el número de vueltas en el devanado primario y secundario determina la relación de transformación de voltaje. Esta relación puede ser ajustada para aumentar o reducir el voltaje.
- **Eficiencia:** Los transformadores tienen una alta eficiencia en la transferencia de energía, con pérdidas mínimas debidas a la resistencia del alambre y las pérdidas en el núcleo.

Aplicaciones

- **Transmisión de Energía:** En la transmisión de electricidad a largas distancias, los transformadores elevan el voltaje para reducir las pérdidas en la línea.
- **Distribución de Energía:** Reducción del voltaje para su distribución a los hogares y empresas.

1.4.3. Generación Mediante Inversores

Definición y Funcionamiento

Los inversores convierten la corriente continua (D.C.) en corriente alterna (A.C.). Este proceso es esencial en aplicaciones donde la energía generada o almacenada es en forma de D.C., como en paneles solares y baterías.

Componentes Principales

- **Semiconductores de Potencia:** Dispositivos como transistores MOSFET o IGBTs que actúan como interruptores electrónicos para convertir D.C. en A.C.
- **Circuitos de Control:** Gestionan el funcionamiento de los semiconductores para producir una forma de onda de A.C. que se asemeje a la onda senoidal.

Características

- **Forma de Onda:** Los inversores modernos producen formas de onda senoidales puras o modificadas para adaptarse a los requisitos de los equipos conectados.
- **Eficiencia:** Los inversores deben ser eficientes para minimizar las pérdidas durante la conversión de D.C. a A.C. La eficiencia puede variar según el diseño y la calidad del inversor.

Aplicaciones

- **Sistemas Fotovoltaicos:** Convierten la energía generada por paneles solares (D.C.) en electricidad utilizable en la red (A.C.).
- **Almacenamiento de Energía:** En sistemas de almacenamiento de baterías, los inversores convierten la



energía almacenada en
baterías en electricidad

alterna para su uso en el
hogar o la red.

1.5. Valores de la corriente eléctrica alterna.

La corriente alterna (A.C.) se caracteriza por su variación periódica en el tiempo, y su análisis involucra varios parámetros importantes. Estos parámetros ayudan a describir y medir las propiedades de la señal de A.C. de manera precisa.

1.5.1. Forma de una Señal Sinusoidal

Una señal sinusoidal es una forma de onda en la cual la variación de la corriente alterna sigue una función seno respecto al tiempo. Es la forma más pura y básica de señal alterna, y su representación gráfica muestra una onda suave y continua que se repite en intervalos regulares.

Características

- **Amplitud:** La altura máxima de la onda desde la línea de base (o valor medio). Es el valor máximo que alcanza la corriente alterna.
- **Fase:** La posición de la onda en el tiempo respecto a un punto de referencia. La fase determina el desplazamiento horizontal de la onda sinusoidal.
- **Frecuencia:** El número de ciclos que la onda completa en un segundo. Se mide en hertzios (Hz). Para la mayoría de las redes eléctricas, la frecuencia estándar es 50 Hz o 60 Hz.
- **Periodo:** El tiempo que tarda la onda en completar un ciclo. Está inversamente

relacionado con la
frecuencia.

1.5.2. Valor Pico a Pico

El valor pico a pico es la diferencia entre el valor máximo positivo y el valor máximo negativo de una señal alterna. Representa la amplitud total de la señal. Como se puede observar en la figura 2.

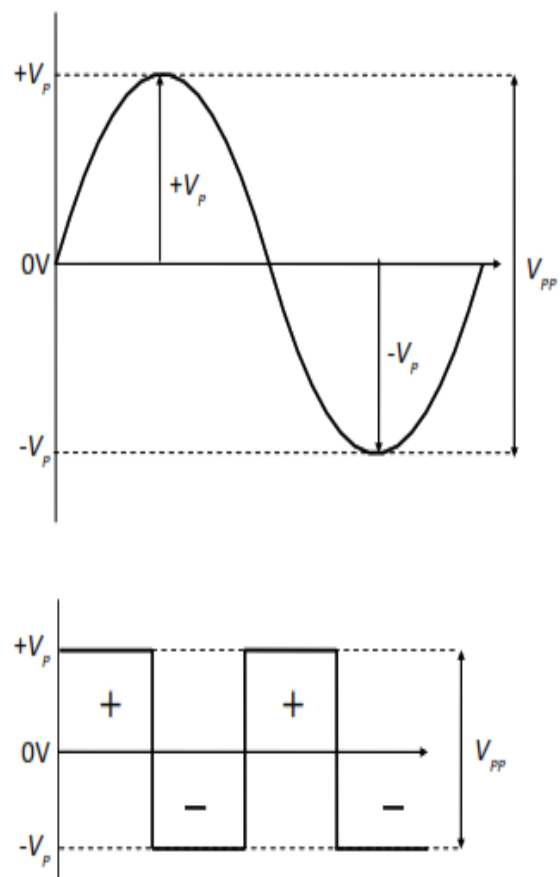


Figura 2 Tensión pico (V_p) y tensión pico a pico (V_{pp})
Hermosa, A. (2013). Electrónica Aplicada



El valor pico a pico es importante para evaluar el rango completo de variación de la señal alterna y es útil en aplicaciones de análisis de señal y diseño de circuitos.

Cálculo

Para una señal sinusoidal, el valor pico a pico (V_{pp}) se puede calcular a partir de la amplitud (V_p) de la siguiente manera:

$$V_{pp} = 2 \times V_p$$

1.5.3. Valor RMS (Root Mean Square)

El valor RMS (Root Mean Square) es una medida que representa el valor efectivo de una señal de corriente alterna. Es el valor cuadrático medio de la señal, y se utiliza para calcular la potencia media que una señal alterna puede entregar.

El valor RMS de una corriente alterna es equivalente al valor de una corriente continua que produciría la misma cantidad de energía en una resistencia. Esto facilita la comparación entre corrientes alternas y continuas.

El cálculo del valor eficaz de una corriente alterna (o voltaje) se fundamenta en tomar la raíz cuadrada de la media aritmética de todos los valores instantáneos elevados al cuadrado.

Voltaje efectivo (V_{rms})

Para señales de voltaje que siguen una forma de onda seno o coseno, y cuando se conoce el voltaje máximo o pico (V_p), el valor del voltaje eficaz (V_{rms}) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

Corriente efectiva (I_{rms})

Para señales de voltaje que siguen una forma de onda seno o coseno, y cuando se conoce la corriente máxima o pico (I_p), el valor de la corriente eficaz (I_{rms}) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

1.5.4. Frecuencia y Periodo

Frecuencia

La frecuencia (f) de una señal alterna es el número de ciclos completos que la onda realiza en un segundo. Se mide en hercios (Hz). La frecuencia determina el ritmo de oscilación de la corriente alterna.

La frecuencia está inversamente relacionada con el periodo (T):

$$f = \frac{1}{T}$$

donde T es el periodo, que es el tiempo necesario para completar un ciclo de la onda.

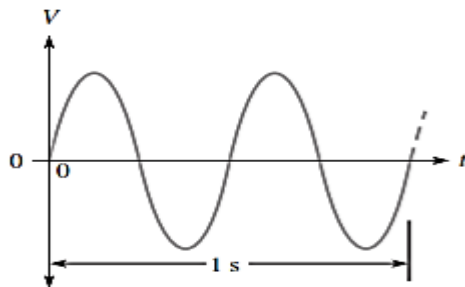
Periodo

El periodo (T) es el tiempo que tarda la onda en realizar un ciclo completo. Es la inversa de la frecuencia y se mide en segundos (s).

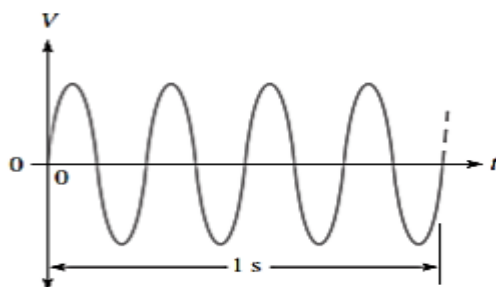
Para obtener el periodo a partir de la frecuencia:

$$T = \frac{1}{f}$$

La frecuencia y el periodo son fundamentales para caracterizar la señal alterna y su comportamiento en sistemas eléctricos y electrónicos. Un ajuste en la frecuencia puede afectar el funcionamiento de equipos y sistemas eléctricos.



(a) Baja frecuencia: menos ciclos por segundo



(b) Alta frecuencia: más ciclos por segundo

Como se observa, la Figura 3 muestra dos ondas sinusoidales: en la sección (a), la onda senoidal realiza dos ciclos en un segundo, mientras que en la sección (b), la onda senoidal completa cuatro ciclos en el mismo intervalo. Por lo tanto, la frecuencia de la onda en la sección (b) es el doble que la de la onda en la sección (a).

Figura 3 Representación de frecuencia. Floyd, T. (2007). Principios de circuitos eléctricos

1.6. Simbología y Representación Gráfica

La simbología y representación gráfica son fundamentales para el diseño, análisis y comprensión de circuitos eléctricos. Los símbolos estándar permiten una comunicación clara y precisa sobre la disposición y funcionamiento de los componentes en un esquema. A continuación, se detalla la simbología estándar para componentes eléctricos y la representación gráfica de circuitos eléctricos.

1.6.1. Símbolos Estándar para Componentes Eléctricos

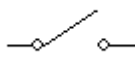
La simbología estándar para componentes eléctricos es un sistema de representación gráfica

utilizado para dibujar circuitos eléctricos en esquemas y diagramas. Cada componente



eléctrico tiene un símbolo específico que facilita la interpretación y el diseño de circuitos.

Tabla 1 Símbolos y descripción de elementos eléctricos más comunes

COMPONENTE	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Resistor		Línea en zigzag (EE.UU.) o líneas paralelas (Europa). Representa la resistencia al flujo de corriente.
Capacitor		Dos líneas paralelas. La longitud de las líneas puede variar según el tipo de capacitor.
Inductor		Espiral o curvas. Representa una bobina que almacena energía en un campo magnético.
Fuente de voltaje		Círculo con "+" y "-" dentro. Representa una fuente de energía eléctrica.
Diodo		Triángulo apuntando hacia una línea vertical. Permite el flujo de corriente en una sola dirección.
Transistor		Conjunto de líneas y símbolos que incluyen una flecha y tres conexiones (NPN o PNP).
Interruptor		Línea que puede estar abierta o cerrada. Indica el estado del circuito.



Terra



Tres líneas horizontales de longitud decreciente hacia abajo. Representa una conexión a tierra.

1.6.2. Representación Gráfica de Circuitos Eléctricos

La representación gráfica de circuitos eléctricos implica la creación de diagramas que ilustran cómo los componentes están conectados y organizados dentro de un circuito. Estos diagramas ayudan a diseñar, analizar y entender circuitos eléctricos de manera eficiente.

Tipos de Diagramas

- **Diagrama Esquemático:** Representa los componentes y sus conexiones mediante símbolos eléctricos estándar. Es el tipo de diagrama más utilizado para el diseño y análisis de circuitos.
- **Diagrama de Bloques:** Muestra el funcionamiento

general de un sistema eléctrico a través de bloques que representan diferentes partes del sistema y las conexiones entre ellos.

- **Diagrama de Circuito Impreso (PCB):** Muestra la disposición física de los componentes en una placa de circuito impreso. Indica las pistas de conexión entre los componentes.
- **Diagrama de Conexión:** Utiliza un estilo menos abstracto que el diagrama esquemático y se centra en cómo los cables y componentes están conectados en un sistema físico.

1.7. Magnitudes eléctricas, equipos de medición y herramientas fundamentales.

Tipos de Multímetros

1.7.1. Multímetro: Uso y Aplicaciones

Un multímetro es un dispositivo versátil utilizado para medir diversas magnitudes eléctricas. Los multímetros pueden ser analógicos o digitales, y son fundamentales en el diagnóstico y mantenimiento de circuitos eléctricos y electrónicos.

- **Multímetro Analógico:** Utiliza una aguja y una escala graduada para mostrar las mediciones. La lectura es obtenida observando la posición de la aguja sobre la escala. Los multímetros analógicos son menos



comunes hoy en día debido a la precisión y facilidad de lectura de los modelos digitales.

- **Multímetro Digital:** Muestra las mediciones en una pantalla LCD o LED. Proporciona lecturas más precisas y es más fácil de usar que el analógico, además de tener la capacidad de mostrar valores en formatos digitales y, a menudo, incluir funciones adicionales como retención de datos y comparaciones automáticas.

Funcionalidades

- **Medición de Voltaje:**
 - **Voltaje de Corriente Continua (D.C.):** Permite medir el voltaje en circuitos de corriente continua, como baterías y fuentes de alimentación.
 - **Voltaje de Corriente Alterna (A.C.):** Mide el voltaje en circuitos de corriente alterna, como los utilizados en redes eléctricas.
- **Medición de Corriente:**
 - **Corriente Continua (D.C.):** Mide la cantidad de corriente que fluye en un circuito de corriente continua.

- **Corriente Alterna (A.C.):** Mide la cantidad de corriente en un circuito de corriente alterna.

- **Medición de Resistencia:** Evalúa la resistencia de componentes eléctricos, como resistores, en ohmios (Ω). Esto es útil para verificar el valor de resistencia de los componentes y detectar fallos.
- **Prueba de Continuidad:** Verifica si existe una conexión eléctrica continua entre dos puntos del circuito. El multímetro emite un tono sonoro si la continuidad está presente, facilitando la localización de cortocircuitos o conexiones defectuosas.

Aplicaciones

- **Diagnóstico de Circuitos:** Permite a los técnicos y ingenieros identificar problemas en los circuitos midiendo voltajes, corrientes y resistencias.
- **Mantenimiento de Equipos:** Es útil para verificar y ajustar parámetros eléctricos en dispositivos y maquinaria, asegurando su correcto funcionamiento.
- **Educación:** Utilizado en entornos educativos para enseñar conceptos básicos de electricidad y electrónica.

Partes de un Multímetro digital



Figura 4 Multímetro digital partes

1.7.2. Osciloscopio: Uso y Aplicaciones

Un osciloscopio es un instrumento de medición que muestra visualmente la variación de una señal eléctrica en función del tiempo. Permite observar y analizar formas de onda, facilitando el diagnóstico y el diseño de circuitos.

Tipos de Osciloscopios

- **Osciloscopio Analógico:** Utiliza un tubo de rayos catódicos (CRT) para proyectar la forma de onda en una pantalla. Aunque ha

sido en gran medida reemplazado por modelos digitales, sigue siendo útil para visualizar señales en tiempo real.

- **Osciloscopio Digital:** Usa tecnología de muestreo y procesamiento digital para representar las señales. Proporciona una visualización más precisa y flexible de las formas de onda, con la capacidad de almacenar y analizar datos.

Funcionalidades



- Visualización de Señales: Permite observar la forma de onda de señales eléctricas, lo que es crucial para analizar el comportamiento de circuitos en diferentes condiciones.
- Medición de Parámetros:
 - Voltaje: Mide el voltaje de la señal y puede mostrar valores máximos, mínimos y promedio.
 - Frecuencia: Determina la frecuencia de las ondas y ayuda a analizar la respuesta de un circuito a diferentes frecuencias.
 - Periodo: Mide el tiempo que tarda una señal en completar un ciclo.
- Análisis de Transitorios: Observa cómo las señales cambian durante eventos

rápidos o transitorios, como encendidos y apagados, lo que es útil para evaluar la respuesta dinámica de un circuito.

Aplicaciones

- Diagnóstico de Circuitos: Facilita el análisis detallado de señales en circuitos electrónicos, ayudando a identificar problemas y verificar el comportamiento del circuito.
- Desarrollo y Pruebas: Utilizado en el diseño y prueba de circuitos para asegurarse de que funcionen como se espera y para optimizar su rendimiento.
- Educación: Herramienta educativa para enseñar conceptos avanzados de señales y análisis de circuitos.



Cuestionario Unidad 1

1. ¿Qué es la corriente eléctrica?

- a) El flujo de electrones a través de un conductor.
- b) La energía almacenada en una batería.
- c) La resistencia que ofrece un material al flujo de electricidad.
- d) La diferencia de potencial entre dos puntos.

2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera para la corriente continua (CC)?

- a) La dirección de la corriente cambia periódicamente.
- b) La corriente fluye en una sola dirección.
- c) La corriente tiene una forma de onda sinusoidal.
- d) La corriente alterna y continua son iguales.

3. ¿En qué dispositivo es común encontrar corriente continua (CC)?

- a) En las redes eléctricas de ciudades.
- b) En la mayoría de los electrodomésticos.
- c) En baterías y fuentes de alimentación.

- d) En generadores de corriente alterna.

4. ¿Qué dispositivo se utiliza para convertir corriente alterna (CA) en corriente continua (CC)?

- a) Transformador
- b) Rectificador
- c) Inversor
- d) Alternador

5. ¿Cuál es la característica principal de la corriente alterna (CA)?

- a) Fluye en una sola dirección.
- b) Su dirección cambia periódicamente.
- c) Es utilizada únicamente en circuitos de baja potencia.
- d) Tiene una magnitud constante en el tiempo.

6. ¿Cuál de las siguientes sustancias es un buen conductor de electricidad?

- a) Madera
- b) Vidrio
- c) Cobre
- d) Caucho



7. ¿Cuál es una característica clave de los materiales aislantes?

- a) Alta conductividad eléctrica
- b) Alta resistividad
- c) Baja densidad
- d) Alta permeabilidad magnética.

8. ¿Cuál es la función principal de un inversor en sistemas eléctricos?

- a) Convertir corriente continua (CC) en corriente alterna (CA).
- b) Aumentar la frecuencia de la corriente alterna.
- c) Reducir el voltaje de la corriente alterna.
- d) Medir la resistencia en un circuito.

9. ¿Qué factor es más importante para un material cuando se utiliza como aislante en cables eléctricos?

- a) Densidad
- b) Permeabilidad magnética
- c) Resistividad eléctrica
- d) Conductividad térmica

10. ¿Qué tipo de energía convierte un alternador para generar corriente alterna (CA)?

- a) Energía química en energía eléctrica
- b) Energía mecánica en energía eléctrica
- c) Energía térmica en energía eléctrica
- d) Energía luminosa en energía eléctrica



02

LEYES ELECTROTÉCNICAS BÁSICAS



2.1. Ley de ohm

La Ley de Ohm es una ley fundamental en la electricidad y la electrónica que describe la relación entre el voltaje, la corriente y la resistencia en un circuito eléctrico.

La ley de ohm establece que la intensidad de corriente que fluye a través de un conductor es directamente proporcional al voltaje (V) aplicado y, al mismo tiempo, inversamente proporcional a la resistencia (R) del conductor.

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

I: representa la corriente medida en amperios (A),

V: es el voltaje expresado en voltios (V),

R: corresponde a la resistencia medida en ohmios (Ω).

Triángulo de la ley de ohm

Para representar la Ley de Ohm en forma de triángulo, se usa una representación visual que ayuda a recordar cómo se relacionan el voltaje (V), la corriente (I) y la resistencia (R). En la figura 5, se presenta el triángulo de la Ley de Ohm:

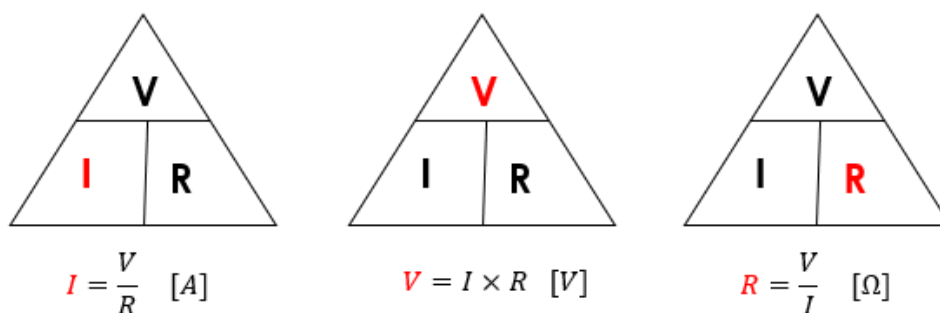


Figura 5 Triángulo de la ley de ohm

Cómo usar el triángulo de la Ley de Ohm:

- **Para encontrar la corriente (I):** Coloca el dedo en *I*. Luego, divide el voltaje (V) entre la resistencia (R) que están a los lados. La fórmula es:

$$I = \frac{V}{R}$$

- **Para encontrar el voltaje (V):** Coloca el dedo en *V*. Luego, multiplica la corriente (I) y la resistencia (R) que están a los lados. La fórmula es:

$$V = I \times R$$

- **Para encontrar la resistencia (R):** Coloca el dedo en *R*. Luego, divide el voltaje (V)



entre la corriente (I) que están a los lados. La fórmula es:

$$R = \frac{V}{I}$$

Ejercicio 1. Se tiene una resistencia de 330Ω conectada a una fuente de 120 V . Se desea saber qué corriente circula a través de la resistencia.

Se aplica la ley de ohm:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\text{V}}{330 \Omega} = 0.36\text{A}$$

Ejercicio 2: Una resistencia de 220Ω conduce una corriente de 0.3 A . ¿Cuál es el voltaje aplicado a la resistencia?

Se aplica la ley de ohm:

$$V = I \times R = 0.3\text{A} \times 220 \Omega = 66 \text{ V}$$

Ejercicio 3: Un dispositivo está conectado a una fuente de 12 V y la corriente que circula es de 0.15 A . ¿Cuál es el valor de la resistencia?

Se aplica la ley de ohm:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12\text{V}}{0.15 \text{ A}} = 80 \Omega$$

2.1.1 Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica es la oposición que presenta un material al paso de la corriente eléctrica. Se mide en ohmios (Ω) y su valor depende del material, la longitud, el área de sección transversal y la temperatura del conductor.

Escala de Valores de Resistencia

Las resistencias eléctricas pueden tener una amplia gama de valores.

Código de Colores de las Resistencias

El valor de una resistencia se puede identificar mediante un código de colores que sigue un sistema estándar de bandas. Este código suele aplicarse en resistencias de tipo axial (cilíndricas) y utiliza diferentes colores para representar los valores numéricos; de esta manera se representa el valor

Los valores más comunes van desde fracciones de ohmios hasta millones de ohmios (Megaohmios, $M\Omega$):

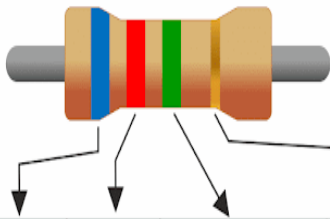
- Ohmios (Ω): Representan resistencias bajas, por ejemplo, 10Ω , 100Ω , 500Ω .
- Kiloohmios ($k\Omega$): $1 k\Omega = 1,000 \Omega$.
- Megaohmios ($M\Omega$): $1 M\Omega = 1,000,000 \Omega$.

nominal de la resistencia y del margen de variación (Tolerancia)

- **Código de color de resistencia eléctrica de cuatro bandas**
 - El código de colores de resistencias eléctricas de cuatro bandas es el más utilizado y se interpreta de la siguiente manera:
La primera banda, comenzando desde el lado izquierdo, indica el

dígito más significativo de la resistencia. La segunda banda representa el segundo dígito. La tercera banda se refiere al factor de multiplicación, que es una potencia de 10 correspondiente al color de la banda y se aplica al número formado por las dos primeras bandas. Finalmente, la cuarta banda indica la tolerancia de la resistencia.

CÓDIGO DE COLORES PARA RESISTENCIAS CON 4 BANDAS



COLOR	BANDA 1	BANDA 2	MULTIPLICADOR	TOLERANCIA
NEGRO	0	0	$\times 1 \Omega$	
MARRÓN	1	1	$\times 10 \Omega$	+/- 1%
ROJO	2	2	$\times 100 \Omega$	+/- 2%
NARANJA	3	3	$\times 1000 \Omega$	
AMARILLO	4	4	$\times 10,000 \Omega$	
VERDE	5	5	$\times 100,000 \Omega$	
AZUL	6	6	$\times 1,000,000 \Omega$	
VIOLETA	7	7	$\times 10,000,000 \Omega$	
GRIS	8	8	$\times 100,000,000 \Omega$	
BLANCO	9	9	$\times 1,000,000,000 \Omega$	
DORADO			$\times 0,1 \Omega$	+/- 5%
PLATEADO			$\times 0,01 \Omega$	+/- 10%
			SIN BANDA	+/- 20%

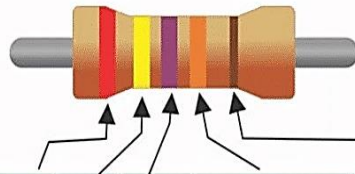
Figura 6 Código de colores para resistencia con 4 bandas

- **Código de color de resistencia eléctrica de cinco bandas**
 - El código de colores de resistencias eléctricas de

cinco bandas se interpreta de la siguiente forma:

La primera banda, comenzando desde el extremo izquierdo, indica el dígito más significativo de la resistencia. La segunda banda representa el segundo dígito, y la tercera banda muestra el tercer dígito significativo. La cuarta banda corresponde a la potencia de 10, que se multiplica por el número formado por las tres primeras bandas. La quinta banda señala la tolerancia de la resistencia.

CÓDIGO DE COLORES PARA RESISTENCIAS CON 5 BANDAS



COLOR	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	MULTIPLICADOR	TOLERANCIA
NEGRO	0	0	0	$\times 1 \Omega$	
MARRÓN	1	1	1	$\times 10 \Omega$	+/- 1%
ROJO	2	2	2	$\times 100 \Omega$	+/- 2%
NARANJA	3	3	3	$\times 1,000 \Omega$	
AMARILLO	4	4	4	$\times 10,000 \Omega$	
VERDE	5	5	5	$\times 100,000 \Omega$	+/- 0.5%
AZUL	6	6	6	$\times 1,000,000 \Omega$	+/- 0.25%
VIOLETA	7	7	7	$\times 10,000,000 \Omega$	+/- 0.10%
GRIS	8	8	8		+/- 0.05%
BLANCO	9	9	9		
DORADO				$\times 0.1 \Omega$	
PLATEADO				$\times 0.01 \Omega$	

Figura 7 Código de colores para resistencia con 5 bandas

- **Código de color de resistencia eléctrica de seis bandas**
 - Estas resistencias de máxima precisión se interpretan de la siguiente forma:

La primera banda, comenzando desde el lado izquierdo, indica el dígito más significativo. La segunda banda representa el segundo dígito, y la tercera muestra el tercer dígito importante. La cuarta banda corresponde a la potencia de 10, que se aplica al número formado por las tres primeras bandas. La quinta banda indica la tolerancia, y la sexta banda muestra el coeficiente de temperatura.

6 Band Resistor



	1st Digit	2nd Digit	3rd Digit	Multiplier	Tolerance	Tempco
Black		0	0	x1		
Brown	1	1	1	x10	± 1%	100
Red	2	2	2	x100	± 2%	50
Orange	3	3	3	x1K	± 3%	15
Yellow	4	4	4	x10K	± 4%	25
Green	5	5	5	x100K	± 0.5%	
Blue	6	6	6	x1M	± 0.25%	10
Violet	7	7	7	x10M	± 0.10%	5
Grey	8	8	8	x100M	± 0.05%	
White	9	9	9	x1G		
Gold				- 10	± 5%	
Silver				+ 100	± 10%	

Figura 8 Código de colores para resistencia con 6 bandas

Ejercicio: Calcular los valores de resistencias para los siguientes colores e indicar el % de tolerancia.

Nº	1era Banda	2da Banda	3era Banda	4ta Banda	Valor R	Tolerancia
1	rojo	rojo	rojo	plateado	2200Ω	±10%
2	violeta	verde	azul	dorado	75 MΩ	±5%
3	Negro	amarillo	naranja	dorado	4kΩ	±5%

2.1.2 Aplicaciones de la ley de Ohm en circuitos eléctricos.

La ley de Ohm también es útil para analizar circuitos más complejos.

Análisis de Circuitos en serie, paralelo y mixtos.

Circuitos en serie

Un circuito en serie es un tipo de configuración de circuito eléctrico en el que todos los componentes están conectados uno tras otro en

una única trayectoria continua. En un circuito en serie, las siguientes características son clave:

- La corriente eléctrica fluye a través de todos los componentes en el mismo camino. Esto significa que la corriente que pasa por un componente es la misma que la que pasa por todos los demás componentes del circuito.



- La tensión total aplicada al circuito se divide entre los componentes, con cada componente experimentando una caída de tensión específica. La suma de estas caídas de tensión es igual a la tensión total suministrada por la fuente de energía.
- La resistencia total en un circuito en serie es la suma de todas las resistencias individuales de los componentes. Esto se debe a que la resistencia total en un circuito en serie se calcula sumando cada resistencia en el camino de la corriente. Para el cálculo de la resistencia total se aplica la siguiente ecuación: $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

Ejercicio 1: Dado el circuito de la figura 9, determinar la resistencia total, corriente total y la caída de tensión en cada componente.

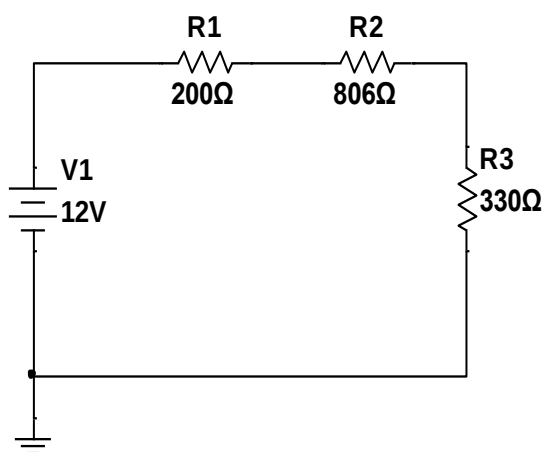


Figura 9 Circuito eléctrico montado en serie con tres resistencias

Solución:

- Cálculo de la Resistencia total

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 200\Omega + 806\Omega + 330\Omega = 1336\Omega$$

- Cálculo de la Corriente total

La misma corriente fluye a través de los tres resistores, aplicamos la ley de ohm para calcularla.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12V}{1336\Omega} = 8.98 \times 10^{-3}A$$

$$I = 8.98\text{ mA}$$

- El valor de caída de tensión en cada una de las resistencias es:

$$V_{R1} = I \times R_1 = 8.98 \times 10^{-3} \times 200$$

$$V_{R1} = 1.8V$$

$$V_{R2} = I \times R_2 = 8.98 \times 10^{-3} \times 806$$

$$V_{R2} = 7.24V$$

$$V_{R3} = I \times R_3 = 8.98 \times 10^{-3} \times 330$$

$$V_{R3} = 2.96V$$

La suma de las caídas de voltaje en cada resistencia será igual al voltaje de la fuente.

$$V_1 = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}$$

$$12V = 1.8V + 7.24V + 2.96V$$

Circuitos en paralelo

Los circuitos en paralelo son aquellos donde los componentes están conectados de manera que la corriente eléctrica tiene múltiples caminos para circular. En este tipo de circuito, los terminales de cada componente están conectados a los mismos dos puntos, por lo que la tensión o voltaje es el mismo en cada componente, pero la corriente se divide entre ellos.



Características principales de los circuitos en paralelo:

- **Voltaje constante:** El voltaje (V) en cada componente del circuito paralelo es igual al voltaje de la fuente. $V_{TOTAL} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$
- **Corriente dividida:** La corriente total (I) se divide entre los diferentes componentes del circuito. La corriente en cada rama depende de la resistencia de cada componente: $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$
- **Resistencia total:** En un circuito en paralelo, la resistencia total (R_{TOTAL}) es menor que la resistencia de cualquiera de los componentes individuales. La resistencia total se calcula con la fórmula:

$$R_{TOTAL} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$$

- **Fallos independientes:** A diferencia de los circuitos en serie, si uno de los componentes falla, el resto del circuito seguirá funcionando, ya que la corriente puede seguir fluyendo por las otras ramas.

Ejercicio 1: Cuatro resistencias de 40Ω , 60Ω , 80Ω y 100Ω están conectadas en paralelo como se muestra en la figura 10 a una fuente de 240 V . Calcula la corriente total y la corriente a través de cada resistencia.

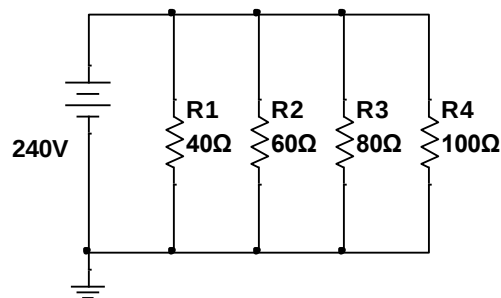


Figura 10 Circuito eléctrico montado en paralelo con cuatro resistencias

Solución:

1. Resistencia total

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{40} + \frac{1}{60} + \frac{1}{80} + \frac{1}{100}}$$

$$R_T = 15.57 \Omega$$

2. La corriente a través de cada resistencia

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{240 \text{ V}}{40 \Omega} = 6 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{240 \text{ V}}{60 \Omega} = 4 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{240 \text{ V}}{80 \Omega} = 3 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{V}{R_4} = \frac{240 \text{ V}}{100 \Omega} = 2.4 \text{ A}$$

3. La corriente total

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$I = 6 \text{ A} + 4 \text{ A} + 3 \text{ A} + 2.4 \text{ A}$$

$$I = 15.4 \text{ A}$$

La corriente total también se puede obtener aplicando la ley de Ohm

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{240 \text{ V}}{15.57 \Omega} = 15.4 \text{ A}$$



Circuitos Mixtos

Los circuitos eléctricos mixtos combinan elementos de circuitos en serie y en paralelo en una misma configuración. En este tipo de circuitos, algunas partes de los componentes están conectadas en serie, mientras que otras están en paralelo, lo que permite aprovechar las ventajas de ambos tipos de conexión.

Características:

- La resistencia total se calcula considerando primero las combinaciones en paralelo y luego las en serie, o viceversa.
- El análisis se realiza paso a paso, simplificando el circuito

Ejercicio 1: Dado el circuito que se muestra en la figura 11, calcular la resistencia total y el voltaje y corriente en cada resistencia.

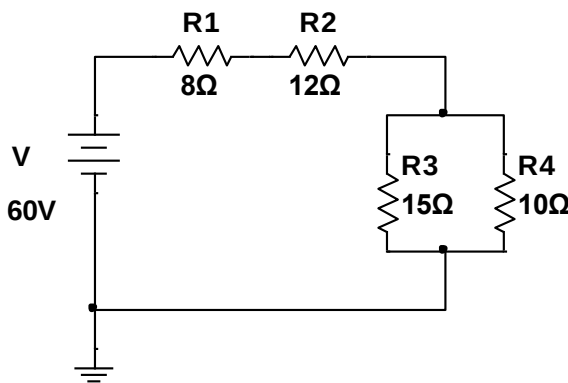


Figura 11 Circuito eléctrico mixto con cuatro resistencias

Solución:

Cálculo de la resistencia total:
Primero se calcula la resistencia equivalente de las dos resistencias en paralelo $R_3 || R_4$.

$$R_{34} = \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{1}{10}} = 6\Omega$$

Dado que la resistencia R_1 y R_2 están en serie con la resistencia equivalente R_{34} , se suma esas resistencias:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_{34}$$

$$R_T = 8\Omega + 12\Omega + 6\Omega = 26\Omega$$

Corriente total del circuito

Se aplica la ley de ohm para calcular la corriente total que suministra la fuente:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{60V}{26\Omega} = 2.31 A$$

Este valor de corriente circulará por R_1 , R_2 y por el valor resultante de $I_{R3||R4}$:

$$I = I_{R1} = I_{R2} = I_{R3||R4} = 2.31A$$

Se aplica la ley de ohm para calcular la caída de tensión de R_1 , R_2

$$V_{R1} = I \times R_1 = 2.31 A \times 8\Omega = 18.48V$$

$$V_{R2} = I \times R_2 = 2.31 A \times 12\Omega = 27.72V$$

El voltaje de la fuente es igual a la suma de las caídas de tensión en V_{R1} , V_{R2} y $V_{R3||R4}$

$$V = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3||R4}$$

$$V_{R3||R4} = V - V_{R1} - V_{R2}$$

$$V_{R3||R4} = 60V - 18.48V - 27.72V$$

$$V_{R3||R4} = 13.8 V$$

El voltaje en V_{R3} y V_{R4} es el mismo ya que están conectados en paralelo:

$$V_{R3||R4} = V_{R3} = V_{R4} = 13.8 \text{ V}$$

Para calcular la corriente en I_{R3} y I_{R4} , se aplica la ley de ohm:

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{13.8 \text{ V}}{15\Omega} = 0.92 \text{ A}$$

$$I_{R4} = \frac{V_{R4}}{4} = \frac{13.8 \text{ V}}{10\Omega} = 1.38 \text{ A}$$

2.2. Leyes de Kirchhoff.

Las leyes de Kirchhoff son fundamentales en el análisis de circuitos eléctricos. Estas leyes permiten entender cómo se distribuyen la corriente y el voltaje en un circuito, lo que es esencial para resolver circuitos complejos.

Principios básicos

Debido a la diversidad de conexiones posibles en un circuito eléctrico, resulta fundamental familiarizarse con ciertos principios fundamentales de la topología de redes. Los componentes clave en esta área incluyen nodos, ramas y mallas.

- **Nodo:** Es un punto de intersección en un circuito donde se conectan dos o más componentes eléctricos. En términos de análisis de circuitos, un nodo es donde la corriente se divide o se combina. En la figura 12, se observan 3 nodos.

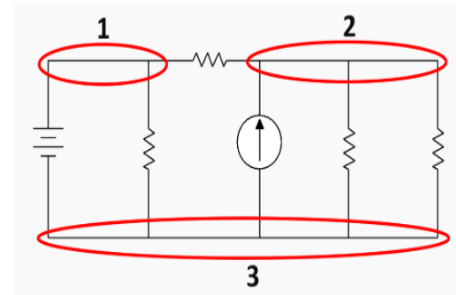


Figura 12 Circuito eléctrico donde se evidencia sus nodos

- **Malla:** Es una trayectoria cerrada que se forma mediante la conexión de los diferentes elementos de un circuito eléctrico.

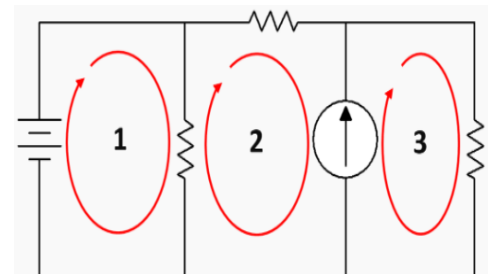


Figura 13 Circuito eléctrico donde se evidencia sus mallas.

- **Rama:** Es cualquier parte del circuito que conecta dos nodos. Puede contener componentes como resistencias, capacitores, inductores, o fuentes de voltaje y corriente.

2.2.1 Ley de corrientes de Kirchhoff (LCK)

La ley de Corrientes de Kirchhoff establece que la suma algebraica de las corrientes en un nodo (punto de intersección de dos o más componentes) es igual a cero. En otras palabras, la corriente que entra en un nodo es igual a la corriente que sale de él, como se puede observar en la figura

Fórmula:

$$\sum I_{\text{Entran}} = \sum I_{\text{Salen}}$$

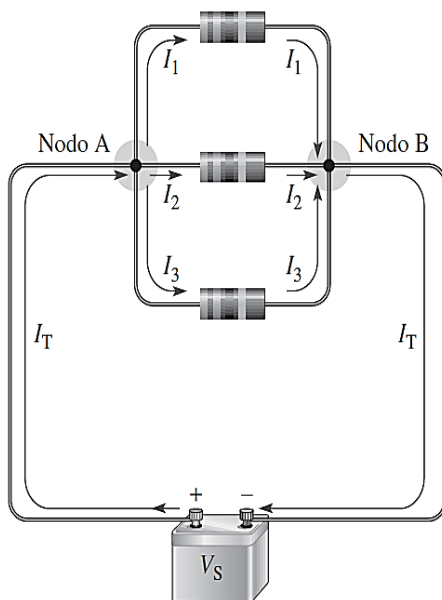


Figura 14 Circuito en el cual se comprueba la LCK

El enunciado de la LCK puede expresarse como: La suma de las corrientes que entran y salen de un nodo es igual a cero. Las corrientes que entran al nodo se consideran positivas, mientras que las que salen se consideran negativas. Con base en estas reglas, se puede plantear:

$$\sum I = 0$$

2.2.1 Ley de voltaje de Kirchhoff (LVK)

La Ley de Tensiones de Kirchhoff establece que la suma algebraica de las tensiones en cualquier lazo cerrado de un circuito es igual a cero. Esto significa que la energía ganada es igual a la energía perdida en un ciclo.

Fórmula:

$$\sum V = 0$$

Para resolver ejercicios, se empleará el sentido convencional de la corriente en las aplicaciones de la ley de voltajes de Kirchhoff. Se asigna un signo positivo a una elevación de potencial (de - a +) y un signo negativo a una caída de potencial (de + a -). Siguiendo la corriente en la figura 15, desde el punto a, primero se observa una caída de potencial V_1 (de + a -) en R_1 , luego otra caída de potencial V_2 en R_2 . Al continuar por la fuente de voltaje, se presenta una elevación de potencial E (de - a +) antes de volver al punto a. Por lo tanto, la ecuación es:

$$E = V_1 + V_2$$

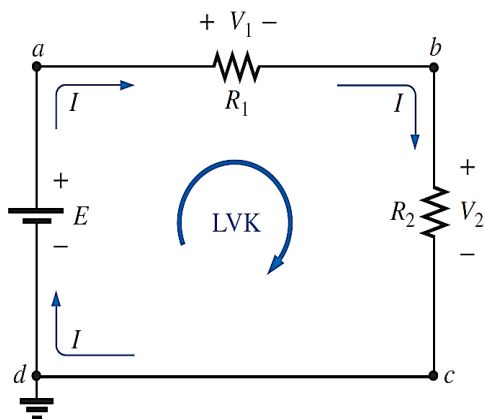


Figura 15 Circuito eléctrico cerrado

2.2.3. Aplicación de las Leyes de Kirchhoff en el Análisis de Circuitos

Las leyes de Kirchhoff son herramientas esenciales para el análisis de circuitos en serie, paralelo y mixtos. Se utilizan para determinar corrientes y voltajes en diferentes partes del circuito.

Ejercicio 1: Calcula el valor de la caída de voltaje desconocido, V_3 , en la figura siguiente.

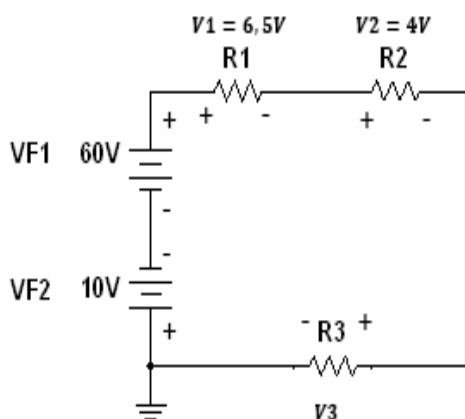


Figura 16 Circuito con valores prácticos

Solución:

Aplicamos LVK, tomando en cuenta las polaridades de la malla del circuito.

$$\sum V = 0$$

$$-10V + 60V - 6.5V - 4V - V_3 = 0$$

$$V_3 = 39.5 V$$

Ejercicio 2: Determine las corrientes I_3 e I_5 de la siguiente figura 17 mediante aplicaciones de la ley de corriente de Kirchhoff.

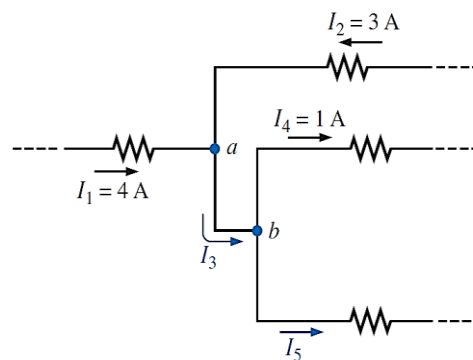


Figura 17 Circuito eléctrico para aplicación práctica

Solución:

Aplicamos LCK, tomando en cuenta cada nodo del circuito propuesto:

Nodo a)

$$\sum I_{Entran} = \sum I_{Salen}$$

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$4A + 3A = I_3$$

$$I_3 = 7A$$

Nodo b)

$$\sum I_{Entran} = \sum I_{Salen}$$

$$I_3 = I_4 + I_5$$

$$7A = 1A + I_5$$

$$I_5 = 6A$$



2.3. Ley de Watt

La Ley de Watt es un principio fundamental en la electricidad que relaciona la potencia, el voltaje y la corriente en un circuito eléctrico. A continuación, se explora en profundidad esta ley, incluyendo su definición, relación entre sus variables y aplicaciones prácticas en el análisis de circuitos.

2.3.1. Definición de Potencia Eléctrica

Potencia eléctrica es la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo en un circuito eléctrico. Se mide en vatios (W), donde 1 vatio equivale a 1 julio por segundo. La potencia eléctrica indica la tasa a la cual se consume o se produce energía.

2.3.1. Definición de Potencia Eléctrica

Potencia eléctrica es la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo en un circuito eléctrico. Se mide en vatios (W), donde 1 vatio equivale a 1 julio por segundo. La potencia eléctrica indica la tasa a la cual se consume o se produce energía.

$$P = \frac{W}{t}$$

donde:

- P es la potencia en vatios (W),
- W es el trabajo en julios (J),

- t es el tiempo en segundos (s).

La **Ley de Watt** establece que la potencia consumida por una carga es directamente proporcional al voltaje aplicado y a la corriente que circula a través de ella. La fórmula básica es:

$$P = V \times I$$

donde:

- P es la potencia en vatios (W),
- V es el voltaje en voltios (V),
- I es la corriente en amperios (A).

2.3.2. Relación entre potencia, voltaje y corriente

La Ley de Watt también puede relacionarse con otras ecuaciones dependiendo de los valores conocidos. Utilizando la Ley de Ohm, se puede expresar la potencia de las siguientes formas:

Partiendo de la expresión fundamental de la potencia se deduce otras dos fórmulas:

$$P = V \times I \Rightarrow V = \frac{P}{I}$$

$$P = V \times I \Rightarrow I = \frac{P}{V}$$

Aplicando la ley de Ohm, se deducen otras fórmulas de interés práctico.

- Sustituyendo: $V = I \times R$



$$P = V \times I \Rightarrow P = (I \times R) \times I \Rightarrow$$

$$P = I^2 \times R$$

Donde se deducen las siguientes fórmulas:

$$P = I^2 \times R \Rightarrow R = \frac{P}{I^2}$$

$$P = I^2 \times R \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

- Sustituyendo: $I = \frac{V}{R}$

$$P = V \times I \Rightarrow P = V \times \frac{V}{R} \Rightarrow P = \frac{V^2}{R}$$

Donde se deducen las siguientes fórmulas:

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

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow V = \sqrt{P \times R}$$

2.3.3. Aplicaciones de la Ley de Watt en el análisis de circuitos

La Ley de Watt es fundamental en el análisis y diseño de circuitos eléctricos y electrónicos. A través de ella, se puede determinar cuánta potencia consume un dispositivo o un componente dentro de un sistema. Esto es útil tanto para diseñar circuitos que optimicen el consumo energético como para calcular la eficiencia de sistemas más grandes.

Algunas aplicaciones específicas incluyen:

- Cálculo del consumo energético: En sistemas de distribución eléctrica, se utiliza para determinar la cantidad de energía que un dispositivo

consume en un tiempo determinado. Esto es importante para calcular costos en sistemas tarifados por consumo eléctrico, como el kilovatio-hora (kWh).

- Diseño de sistemas eléctricos: Utilizan la Ley de Watt para asegurarse de que los componentes eléctricos, como resistencias, generadores, y fuentes de energía, se seleccionen adecuadamente en función de la potencia requerida.
- Sistemas de potencia renovable: En proyectos de energías renovables, como paneles solares, se emplea esta ley para determinar la potencia generada y optimizar el almacenamiento de energía en baterías.
- Electrónica de consumo: Se emplea en dispositivos como baterías, transformadores y electrodomésticos para garantizar que funcionen de manera eficiente sin sobrepasar sus límites de potencia.

Ejercicio 1: Si un dispositivo eléctrico consume 220 V y 2 A de corriente, ¿cuál es su potencia?

$$P = V \times I$$

$$P = 220 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 440 \text{ W}$$

Ejercicio 2: Un resistor de 50 ohmios tiene una corriente de 3 amperios fluyendo a través de él. ¿Cuál es la potencia disipada en el resistor?

$$P = I^2 \times R$$

$$P = (3 \text{ A})^2 \times 50 \Omega = 450 \text{ W}$$



Ejercicio 3: En el circuito mostrado en la figura 18.

Calcula:

- La resistencia total del circuito.
- La corriente total que fluye en el circuito.
- La potencia disipada en cada resistencia.

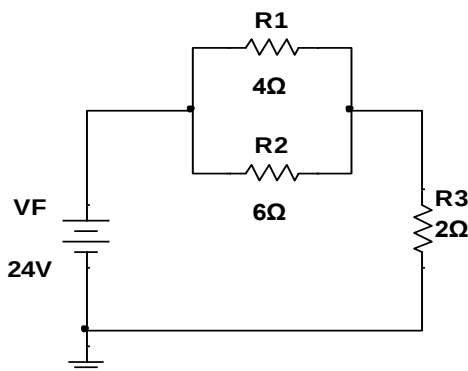


Figura 18 Circuito eléctrico

1. Cálculo de la Resistencia total
Para el cálculo de la resistencia total primero calcular la resistencia equivalente de R1 y R2 que se encuentran en paralelo.

$$R_{12} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{1}{6}} = 2.4\Omega$$

La resistencia total es la suma de calcular la resistencia

equivalente de R1 y R2 con R3.

$$R_T = R_{12} + R_3$$

$$R_T = 2.4\Omega + 2 = 4.4\Omega$$

2. Cálculo de la Corriente Total

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{24V}{4.4\Omega} = 5.45 A$$

3. Cálculo de la Potencia disipada en cada resistencia
Para R3:

$$P_3 = I^2 \times R_3 = (5.45 A)^2 \times 2\Omega$$

$$P_3 = 59.40 W$$

Para R1 y R2:

Primero calcular la caída de tensión en la combinación de resistencia en paralelo:

$$V_{12} = I \times R_{12}$$

$$V_{12} = 5.45 A \times 2.4\Omega = 13.1 V$$

Potencia R1:

$$I_1 = \frac{V_{12}}{R_1} = \frac{13.1V}{4\Omega} = 3.27 A$$

$$P_1 = I^2 \times R_1 = (3.27 A)^2 \times 4\Omega$$

$$P_1 = 42.77 W$$

Potencia R2:

$$I_1 = \frac{V_{12}}{R_2} = \frac{13.1V}{6\Omega} = 2.18 A$$

$$P_2 = I^2 \times R_2 = (2.18 A)^2 \times 6\Omega$$

$$P_2 = 28.51 W$$

2.4. Análisis de circuitos en C.C y A.C

El análisis de circuitos eléctricos, tanto en corriente continua (CC) como en corriente alterna (AC), es fundamental en la ingeniería eléctrica. La corriente continua fluye en una sola dirección con una magnitud constante, mientras que la

corriente alterna cambia de dirección periódicamente.

2.4.1. Inductancia en Serie y Paralelo

La inductancia es la propiedad de un inductor que resiste cambios en la corriente que lo atraviesa. La unidad



de medida es el Henrio (H) y se representa con la letra "L". Cuando inductores están conectados en serie o en paralelo, la inductancia equivalente se calcula de la siguiente manera:

Inductancia en Serie: La inductancia total es la suma de las inductancias individuales. Esto se debe a que la misma corriente fluye a través de cada inductor. En la figura 19, se muestra la conexión de inductores en serie.

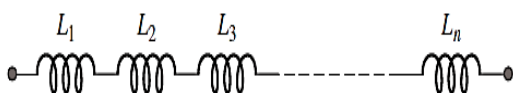


Figura 19 Inductores conectados en serie

La fórmula para L_T se expresa en la siguiente ecuación para el caso general de n inductores en serie:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

Inductancia en Paralelo: Cuando los inductores se conectan en paralelo, como se muestra en la figura 20, la inductancia total resulta ser inferior a la inductancia del inductor de menor valor.

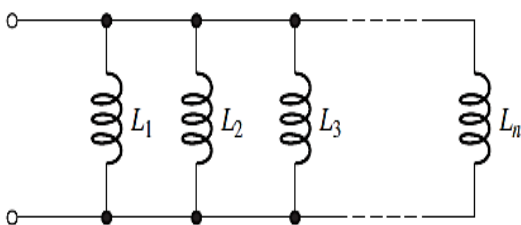


Figura 20 Inductores conectados en paralelo

La fórmula general establece que el recíproco de la inductancia total es igual a la suma de los recíprocos de las inductancias individuales.

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Se puede calcular la inductancia total, L_T , tomando el recíproco de ambos miembros de la ecuación anterior.

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}}$$

Ejercicio 1: Determine la inductancia total de la conexión en serie de la siguiente figura 21.

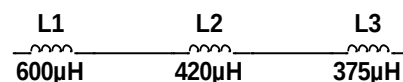


Figura 21 Conexión en serie de inductores

Solución:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_T = 600\mu H + 420\mu H + 375\mu H$$

$$L_T = 1395\mu H$$

Ejercicio 2: Determine la inductancia total de la conexión en paralelo de la siguiente figura 22.

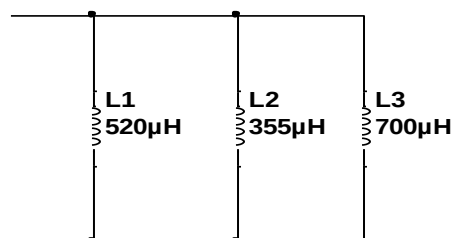


Figura 22 Conexión en paralelo de inductores

Solución:

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}}$$

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{520} + \frac{1}{355} + \frac{1}{700}} = 162.11\mu H$$

2.4.2. Capacitancia en Serie y Paralelo

La capacitancia es la propiedad de un condensador para almacenar carga eléctrica. La unidad de medida de la capacitancia es el faradio (F) se representa con la letra "C". Cuando los capacitores están conectados en serie o en paralelo, la capacitancia total o equivalente se calcula de la siguiente manera:

Capacitancia en Serie: En una conexión en serie, el valor de la capacitancia total es menor que cualquier capacitancia individual. Se calcula de forma similar a las resistencias en paralelo. En la figura se puede observar una conexión en serie de capacitores.

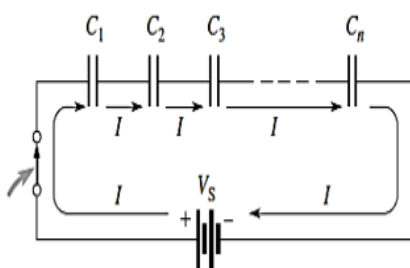


Figura 23 conexión en serie de capacitores

La siguiente fórmula general se utiliza para encontrar la capacitancia total en serie:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Capacitancia en Paralelo: En una configuración en paralelo, la capacitancia equivalente es simplemente la suma de las capacitancias individuales. En la siguiente figura se puede observar

una conexión en paralelo de capacitores.

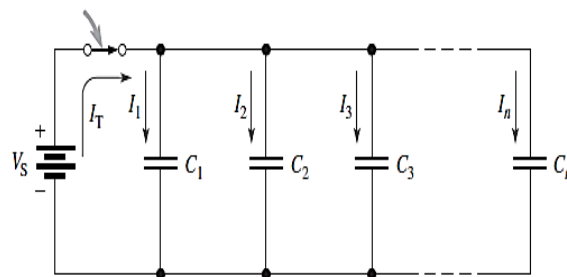


Figura 24 conexión en paralelo de capacitores

Con la siguiente fórmula es posible calcular la capacitancia total en paralelo en el caso general de n capacitores dispuestos en paralelo:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Ejercicio 1: Determine la capacitancia total de la conexión en paralelo de la siguiente figura 25.

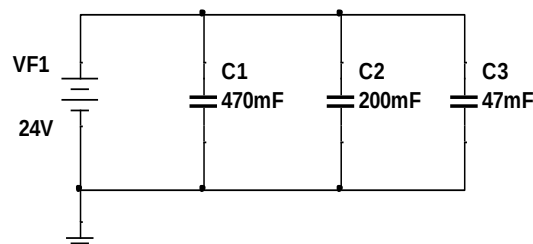


Figura 25 Conexión en paralelo de capacitores

Solución:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C_T = 470mF + 200mF + 47mF$$

$$C_T = 717mF$$

Ejercicio 2: Determine la capacitancia total de la conexión en serie de la siguiente figura 26.

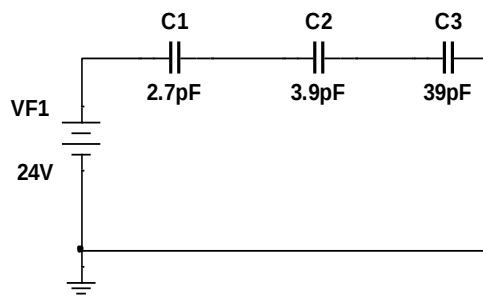


Figura 26 Conexión en serie de capacitores

Solución:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{2.7} + \frac{1}{3.9} + \frac{1}{39}} = 1.53pF$$

2.4.3. Aplicaciones de Inductores y Capacitores en CC

Inductores

- Filtros de corriente: Se utilizan en circuitos de filtrado para eliminar ruidos y picos de voltaje.
- Almacenamiento de energía: Los inductores almacenan energía en su campo magnético, lo que es útil en circuitos de conmutación.

Capacitores

- Almacenamiento de carga: Se utilizan para almacenar energía eléctrica y liberarla cuando es necesario.
- Desacoplamiento: En circuitos digitales, los capacitores desacoplan las señales para estabilizar el voltaje.

2.4.4. Impedancias y Reactancias

La impedancia (Z): Es la oposición total que un circuito ofrece al paso de una corriente alterna. Se mide en ohmios (Ω) y se define como la combinación de resistencia (R) y reactancia (X).

$$Z = R + jX$$

Donde:

R: es la resistencia

X: es la reactancia.

Reactancia: La reactancia se divide en dos tipos:

Reactancia Inductiva (X_L): Es la oposición que un inductor presenta al cambio en la corriente alterna. Se calcula como:

$$X_L = 2\pi fL$$

Donde:

f: es la frecuencia

L: es la inductancia.

Reactancia Capacitiva (X_C): Es la oposición que un capacitor presenta al cambio en la tensión alterna. Se calcula como:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Donde:

f: es la frecuencia

C: es la capacitancia.



2.4.5. Cálculos de Impedancias en Serie y Paralelo

- **Impedancias en Serie:** La impedancia total en un circuito en serie se suma

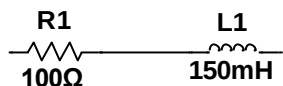
$$Z_T = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n$$

- **Impedancias en Paralelo:**

Para circuitos en paralelo, la impedancia total se calcula como:

$$Z_T = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_n}}$$

Ejercicios: Hallar la impedancia equivalente del siguiente circuito serie sabiendo que funciona a una frecuencia de 200 Hz.



Solución:

Calcular la reactancia inductiva:

$$X_L = 2\pi fL$$

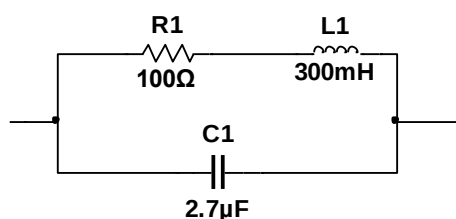
$$X_L = 2\pi(200\text{Hz})(150\text{mH}) = 188.5 \Omega$$

Impedancia total:

$$Z = R + jX_L$$

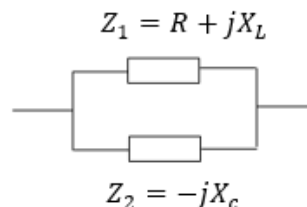
$$Z = 100 + j188.5 \Omega$$

Ejercicio 2: Hallar la impedancia equivalente del siguiente circuito sabiendo que la frecuencia a la cual funciona es de 60 Hz.



Solución:

Para resolver este tipo de circuitos reemplazamos por impedancias a cada uno de los componentes y luego las asociamos para obtener la impedancia total, como se muestra en la figura.



Calcular la reactancia inductiva:

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2\pi(60\text{Hz})(300\text{mH}) = 113.1 \Omega$$

Impedancia Z1:

$$Z_1 = R + jX_L$$

$$Z_1 = 100 + j113.1 \Omega$$

Calcular la reactancia capacitiva

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi(60\text{Hz})(2.7\mu\text{F})} = 982.44\Omega$$

Impedancia Z2:

$$Z_2 = -jX_C$$

$$Z_2 = -j982.44 \Omega$$

Impedancia ZT:

$$Z_T = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$Z_T = \frac{(100 + j113.1) \times -j982.44}{100 + j113.1 - j982.44} \Omega$$

$$Z_T = \frac{111113.96 - j98244}{100 - j869.44} \Omega$$

$$Z_T = 126.04 + j113.31 \Omega$$

2.5. Cálculo de la sección de conductores

La sección de un conductor eléctrico es crucial para garantizar una adecuada conducción de corriente, minimizar pérdidas por calentamiento y asegurar la seguridad del sistema eléctrico.

2.5.1. Circuitos Alimentadores y Derivados

Se define a los circuitos alimentadores y derivados a las conexiones que representen a una carga conectada al sistema eléctrico de distribución desde el medidor de energía de la edificación, pasando por el Tablero General de Protección hasta la carga conectada, esto es, representar a través de un diagrama unifilar los respectivos componentes, protecciones y elementos de control.

En la siguiente figura 27, se muestra la representación de los componentes, protecciones y elementos de control de un diagrama unifilar.

Cabe resaltar que dentro del diagrama unifilar se debe destacar absolutamente todo como, por ejemplo: calibres de conductores de fase, neutro y tierra, se debe dejar en

claro las conexiones a tierra, medidores de energía, centros de carga y demás componentes que se necesiten para obtener una adecuada instalación eléctrica.

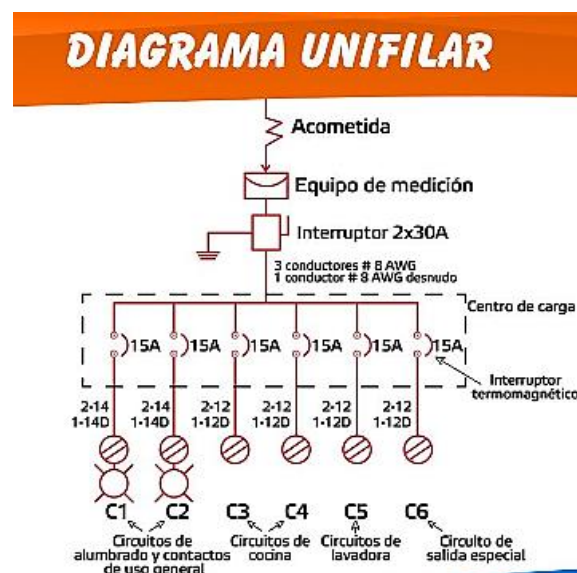


Figura 27 Representación gráfica de un diagrama unifilar eléctrico

Circuitos Alimentadores: Un circuito alimentador es aquel que transporta la energía eléctrica desde la fuente de suministro (como un panel de distribución) hasta una carga o a otros subpaneles. La selección de la sección de los conductores de un alimentador depende de la potencia que debe alimentar, la distancia, y las condiciones de instalación.

Circuitos Derivados: Un circuito derivado se conecta desde el alimentador para distribuir la energía a cargas específicas, como iluminación, electrodomésticos o

equipos. Los conductores de estos circuitos suelen ser de menor sección que los alimentadores, ya que generalmente transportan menos corriente.

2.5.2. Circuitos de Alumbrado General

Los circuitos de alumbrado general abastecen la energía a luminarias, y su diseño debe garantizar que el voltaje suministrado sea suficiente para todas las lámparas conectadas, manteniendo la caída de tensión dentro de los límites permitidos (generalmente un 3% de la tensión nominal). En la selección de la sección del conductor, además de la corriente nominal de las lámparas, se deben considerar factores como el tipo de lámparas (incandescentes, fluorescentes, LED) y el sistema de control de iluminación.

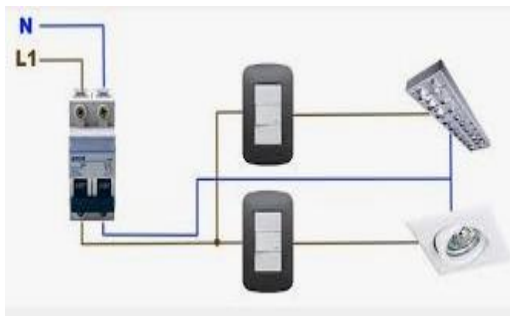


Figura 28 Circuito de iluminación domiciliar

2.5.3. Circuitos de Receptáculos

Los circuitos de receptáculos están diseñados para alimentar enchufes donde se conectan

electrodomésticos y dispositivos electrónicos. Para calcular la sección de los conductores en estos circuitos, se debe considerar la carga total que será conectada en los receptáculos, teniendo en cuenta posibles picos de corriente al encender varios dispositivos simultáneamente. Por ejemplo, la normativa puede sugerir circuitos independientes para grandes electrodomésticos como refrigeradores o lavadoras.

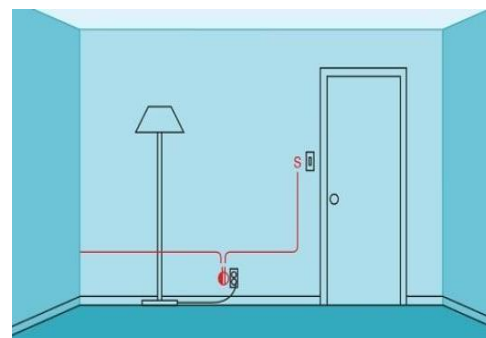


Figura 29 Conexión de tomacorriente y receptáculo controlado por un interruptor sencillo.

2.5.4. Cargas Especiales

Las cargas especiales incluyen equipos que tienen requisitos específicos de consumo energético, como motores eléctricos, hornos, equipos de climatización, etc. En estos casos, es esencial conocer la corriente de arranque (especialmente en motores) y la caída de tensión permisible para garantizar que el equipo funcione correctamente sin sobrecalentar los conductores.



Cuestionario Unidad 2

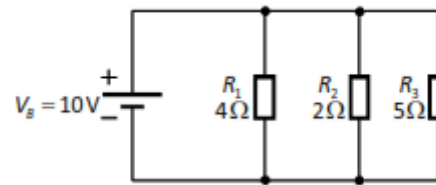
- 1.Cuál es la definición de la resistencia eléctrica?
 - A. La capacidad de un material para almacenar energía.
 - B. La oposición que presenta un material al paso de la corriente.
 - C. La energía que se transforma en calor.
 - D. La cantidad de carga que puede moverse por un conductor.
2. ¿Qué sucede con la corriente cuando la resistencia aumenta y el voltaje se mantiene constante?
 - A. Aumenta.
 - B. Disminuye.
 - C. Se mantiene igual.
 - D. Se vuelve negativa.
3. La Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK) establece que:
 - A. La suma de todas las corrientes que entran y salen de un nodo es igual a cero.
 - B. La corriente es directamente proporcional al voltaje.
 - C. La suma de las resistencias en un circuito cerrado es constante.
 - D. La potencia en un nodo es igual a la tensión en el mismo.
4. ¿Qué expresa la Ley de Tensiones de Kirchhoff (LVK)?
 - A. La suma de las corrientes que entran a un nodo es igual a la suma de las que salen.
 - B. La suma algebraica de las tensiones en una malla es igual a cero.
 - C. La resistencia total de un circuito en paralelo es igual a la inversa de la suma de las resistencias.
 - D. La corriente en un circuito es proporcional a la resistencia total.
5. La Ley de Watt describe la relación entre:
 - A. Voltaje, corriente y resistencia.
 - B. Potencia, voltaje y corriente.
 - C. Resistencia, potencia y energía.
 - D. Corriente, energía y tiempo.
6. Si un dispositivo eléctrico consume 1000 W a 220 V, ¿cuál es la corriente que fluye por el circuito?
 - A) 4.54 A
 - B) 2.27 A
 - C) 10 A
 - D) 220 A
7. ¿Qué es la inductancia en un circuito?

- A. La resistencia que presenta un conductor al paso de la corriente.
- B. La propiedad de un circuito para oponerse a los cambios de corriente.
- C. La capacidad de un conductor de almacenar energía en forma de campo eléctrico.
- D. La resistencia equivalente de un circuito en paralelo.

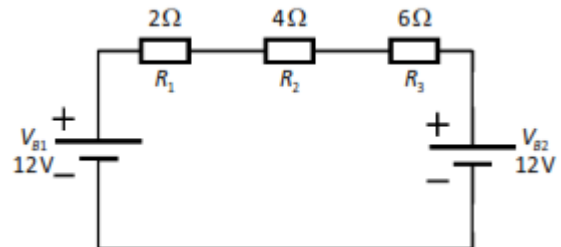
8. ¿Cómo se calcula la capacitancia total de dos capacitores conectados en paralelo?

- A. La capacitancia total es la suma de las capacitancias individuales.
- B. La capacitancia total es la inversa de la suma de las capacitancias.
- C. La capacitancia total es el producto de las capacitancias.
- D. La capacitancia total es el cociente entre las capacitancias.

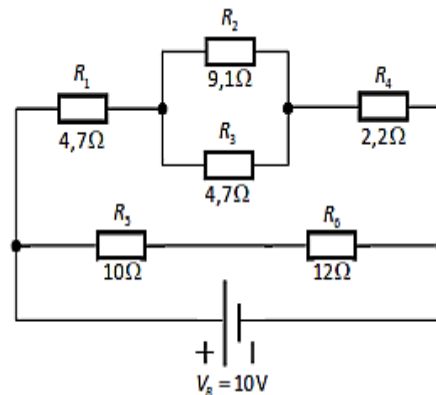
9. Calcular la corriente total que entregará la fuente de tensión, V_B , en el circuito siguiente:



10. Calcular la tensión y la corriente por cada una de las resistencias del circuito siguiente.



11. Calcular el valor de la resistencia total del circuito siguiente:



12. En un circuito en serie con un suministro de 240 V, hay dos resistencias $R_1=40\ \Omega$, y $R_2=60\ \Omega$. ¿Cuál es la potencia disipada en R_1 ?

- A. 48 W
- B. 72 W
- C. 96 W
- D. 120 W



03

3. ELEMENTOS USADOS EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

3.1. Conductores y ductos

Las instalaciones eléctricas requieren conductores y ductos adecuados para asegurar un flujo seguro y eficiente de la electricidad. A continuación, se exploran los tipos de conductores eléctricos, sus características, y los tipos de ductos utilizados en instalaciones eléctricas.

3.1.1. Tipos de Conductores Eléctricos



Figura 30 Tipos de conductores eléctricos

Los principales materiales utilizados para los conductores eléctricos son el cobre y el aluminio. Ambos tienen distintas características que los hacen apropiados para diferentes aplicaciones:

- **Cobre:** Es el conductor más común debido a su alta conductividad eléctrica y térmica, ductilidad y resistencia a la corrosión. Su alta resistencia mecánica lo hace ideal para aplicaciones que requieren durabilidad y flexibilidad.
- **Aluminio:** Aunque tiene una menor conductividad eléctrica que el cobre, es más ligero y considerablemente más económico. Se utiliza frecuentemente en líneas de alta tensión y en sistemas donde se requiere una relación favorable entre peso y conductividad.

Otros materiales, como el acero recubierto de cobre y las aleaciones, también pueden utilizarse en aplicaciones específicas, aunque con menor frecuencia.

En la siguiente tabla se encontrará los tipos de conductores eléctricos, sus características y aplicaciones:

Tipo de Conductor	Descripción	Características	Aplicaciones
Cobre	Hecho de cobre, excelente conductor.	Alta conductividad, flexible, menor resistencia.	Instalaciones residenciales, industriales, cables.
Aluminio	Hecho de aluminio, más ligero que el cobre.	Buena conductividad, menor costo, mayor expansión térmica.	Líneas de transmisión y distribución de energía.



Aislados	Recubiertos con materiales aislantes.	Previenen cortocircuitos, disponibles en varios aislamientos.	Cables eléctricos para instalaciones interiores y exteriores.
Desnudos	Sin recubrimiento aislante.	Exposición a condiciones ambientales, generalmente de aluminio o cobre.	Líneas aéreas de transmisión, conexión a tierra.
Trenzados	Hilos de conductor trenzados.	Alta flexibilidad, resistencia a la fatiga.	Aplicaciones electrónicas, dispositivos portátiles.
Baja Tensión	Para circuitos de baja tensión (hasta 1 kV).	Aislados para proteger al usuario, disponibles en monocables y multicables.	Instalaciones eléctricas residenciales y comerciales.
Alta Tensión	Para líneas de transmisión superiores a 1 kV.	Diseñados para voltajes altos, materiales especiales.	Transmisión de energía eléctrica a largas distancias.

3.1.2. Características y Propiedades de los Conductores

Los conductores eléctricos deben cumplir con una serie de características para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente. Entre las propiedades más relevantes se encuentran:

- **Conductividad Eléctrica:** El cobre tiene una conductividad del 100%, mientras que el aluminio es de aproximadamente el 61%. La conductividad es la capacidad del material para permitir el paso de la corriente eléctrica.
- **Resistencia a la Corrosión:** El cobre es altamente resistente a la corrosión, lo que le

permite una vida útil más prolongada en ambientes expuestos. El aluminio, en cambio, es susceptible a la corrosión en ambientes húmedos o salinos, pero se puede recubrir para evitar este problema.

- **Resistencia Mecánica:** La capacidad del conductor para soportar tensión mecánica es crucial, especialmente en instalaciones donde los conductores estarán expuestos a esfuerzos físicos. El cobre tiene una mayor resistencia mecánica que el aluminio.



- **Ductilidad:** Los conductores deben ser flexibles para permitir su instalación en diferentes tipos de configuraciones. El cobre es más dúctil que el aluminio, lo que lo hace más adecuado para instalaciones complejas.

3.1.3. Tipos de Ductos Utilizados en Instalaciones Eléctricas

En las instalaciones eléctricas, los conductores deben estar protegidos por ductos que eviten el deterioro por factores ambientales y mecánicos. Los tipos más comunes de ductos son:

Tipo de Ducto	Descripción	Características	Aplicaciones
Tubería Galvanizada Pared Delgada	Tubo conduit sin rosca, soportado por perfiles unicanales y abrazaderas.	Instalaciones ligeras, no apta para ambientes agresivos.	Instalaciones comerciales y ambientes poco corrosivos.
Tubería Galvanizada Pared Gruesa	Utilizada para la conexión de circuitos de fuerza, con rosca en sus extremos.	Mayor resistencia mecánica y durabilidad.	Instalaciones industriales ligeras.
Charola Portacable Tipo Escalera	Estructura para la canalización de cables sin necesidad de tubería.	Permite ventilación del cable y rápida instalación.	Instalaciones eléctricas donde se requieren múltiples tiradas de cable.
Tubería Galvanizada Cédula 40	Tubo robusto para ambientes extremos, resistente a corrosión y agentes químicos.	Alta resistencia, ideal para ambientes industriales.	Refinerías, cámaras de pintura, gaseras y plantas químicas.
Tubería Cédula 40 Recubierta de PVC	Utilizada en ambientes extremadamente corrosivos con recubrimiento especial.	Protección ante agentes químicos.	Empresas químicas (cloro, hidróxido de sodio, etc.).
Tubo PAD	Canalización subterránea de cableado eléctrico, instalado bajo tierra.	Adecuado para circuitos de baja tensión.	Acometidas eléctricas subterráneas.
Poliducto Corrugado	Material flexible, deslizante y de alta durabilidad.	Económico, ideal para instalaciones residenciales.	Instalaciones embebidas en concreto.



Tubo Flexible Metálico	Tubo metálico helicoidal que proporciona protección no hermética.	Flexibilidad para instalaciones de difícil acceso.	Instalaciones eléctricas con movimientos repetitivos.
Tubo Conduit PVC	Tubería de PVC para conducción de cableado eléctrico, aislada a tierra.	No conduce electricidad, apta para sistemas aislados.	Sistemas eléctricos tanto aparentes como ocultos.
Tubería Flexible Liquid Tight	Tubo metálico flexible recubierto de PVC, proporciona protección mecánica y hermética.	Flexibilidad y conexión a tierra, protege contra corrientes parásitas.	Instalaciones eléctricas con movimientos repetitivos.
Tubería de Aluminio Cédula 40	Tubería rígida de aluminio, ideal para ambientes corrosivos.	Ligeras y resistentes a la corrosión.	Plantas químicas, refinerías y estaciones de llenado de combustibles.

3.2. Elementos de protección en baja tensión

Los elementos de protección en baja tensión, como los interruptores automáticos, fusibles y diferenciales, son fundamentales para garantizar la seguridad tanto de las personas como de los equipos eléctricos. Los disyuntores ofrecen una protección eficaz frente a sobrecargas y cortocircuitos, mientras que los fusibles proporcionan una solución económica y rápida. Los interruptores diferenciales, por su parte, son esenciales para la protección contra fugas de corriente, previniendo accidentes eléctricos graves.

esenciales en la protección de circuitos eléctricos de baja tensión. Su función principal es interrumpir el flujo de corriente eléctrica cuando se detectan sobrecargas o cortocircuitos, previniendo así daños a los equipos eléctricos y posibles incendios.

3.2.1. Interruptores Automáticos (Disyuntores) y su Funcionamiento

Los interruptores automáticos, también conocidos como disyuntores, son dispositivos



Figura 31 Disyuntores en miniatura (MCB)

Principio de Funcionamiento:

Los disyuntores funcionan detectando un aumento en la corriente eléctrica que supera los límites seguros del circuito. Una vez que se detecta la sobrecarga, el interruptor abre el circuito de manera automática.

Existen diferentes tipos de disyuntores, incluyendo los magnéticos y los termomagnéticos. Los disyuntores magnéticos responden rápidamente a cortocircuitos, mientras que los termomagnéticos también incluyen protección contra sobrecargas más lentas a través de un mecanismo bimetálico.

Características de los disyuntores eléctricos

- Tensión de trabajo: Voltaje para el que están diseñado. Pueden ser monofásicos o trifásicos.
- Intensidad nominal: Al igual que con la tensión, es el valor de la corriente de trabajo.
- Poder de corte: La intensidad máxima que puede interrumpir.
- Poder de cierre: Intensidad máxima que puede soportar sin sufrir daños.
- Número de polos: La cantidad de conectores que podemos conectar al dispositivo.

Tipos de Disyuntores:

- Disyuntor Magnetotérmico: Es el encargado de cortar el paso de la corriente cuando supera un determinado umbral. Protegen al resto de la instalación y los equipos que están conectados de posible sobrecargas y cortocircuitos.
- Disyuntor Diferencial: Además de proteger contra sobrecargas, este dispositivo detecta diferencias en la corriente que podrían indicar fugas a tierra, protegiendo a las personas de posibles electrocuciones.

3.2.2. Fusibles: Tipos, Características y Aplicación

Los fusibles son dispositivos de protección eléctrica que actúan fundiéndose cuando la corriente que pasa a través de ellos excede un valor predeterminado, desconectando el circuito y evitando daños. A diferencia de los disyuntores, los fusibles deben ser reemplazados después de haber actuado.



Figura 32 fusibles de diferentes formas y materiales

Tipos de Fusibles:

Tipo de Fusible	Descripción	Características	Aplicaciones
Diazed	Se coloca en la coronilla roscada, fijándose a la base del circuito mediante tornillos.	Permite un cierre seguro y fácil instalación.	Instalaciones eléctricas generales.
Cilíndricos	Hechos de material cerámico, resistentes a golpes y choques.	Contienen un filamento en un tubo cilíndrico.	Usados en circuitos eléctricos domésticos.
Encapsulado de Vidrio	Revestidos de vidrio transparente, permiten ver el interior fácilmente.	Se funden al detectar corrientes excesivas, interrumpiendo el flujo eléctrico.	Protección de circuitos eléctricos visibles.
Chicote	Utiliza hilo metálico o plomo que se funde al sobrecalentarse.	Responde a temperaturas elevadas en el circuito.	Protección en circuitos simples y de baja tensión.



Tapón Enroscable	Cilíndrico, fabricado de material cerámico, con un filamento interior.	Permite abrir y cambiar el filamento dañado.	Instalaciones donde se requiere mantenimiento.
De Cuchillas (NH)	Tienen un filamento en una carcasa robusta; algunos incluyen percutor.	Utilizados en instalaciones de distribución eléctrica.	Grandes transformadores y sistemas industriales.
De Pastilla	Similares a los cilíndricos, pero varían en funcionamiento.	Material cerámico, diseño para facilitar el reemplazo.	Usados en aplicaciones donde se requiere protección rápida.
Cartucho	Hechos de material aislante, se integran en el circuito mediante presión en un soporte.	Sencillos de sustituir y comúnmente utilizados en placas y circuitos pequeños.	Aplicaciones en dispositivos electrónicos y pequeños circuitos.

3.2.3. Interruptores Diferenciales y su Importancia en la Protección Eléctrica

El interruptor diferencial es un dispositivo de protección diseñado para prevenir accidentes eléctricos, especialmente aquellos que involucran electrocuciones. Detecta diferencias entre la corriente que entra y la que sale de un circuito; si se detecta una fuga de corriente a tierra, el interruptor desconecta el circuito de manera inmediata.

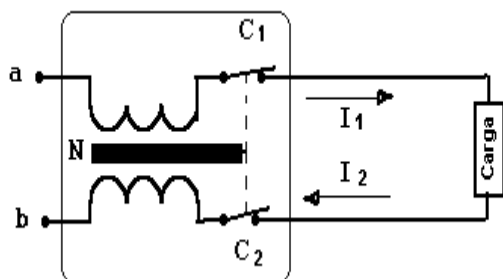


Figura 33 Interruptor diferencial

Funcionamiento:

Un interruptor diferencial mide continuamente la corriente que circula por los conductores fase y neutro. Si hay una diferencia mayor a cierto umbral (normalmente de 30 mA para protección personal), se considera que la corriente está escapando a tierra y el dispositivo abre el circuito.

Importancia:

Los diferenciales son críticos en la protección contra fugas de corriente que pueden causar accidentes graves, como descargas eléctricas. También protegen equipos sensibles contra daños y pueden ser utilizados en entornos.

tanto residenciales como industriales.

3.3. Cajas y tableros

Las cajas eléctricas y los tableros de distribución son esenciales para la organización, protección y control de los sistemas eléctricos en baja tensión. Las cajas protegen las conexiones y facilitan la distribución de los conductores, mientras que los tableros agrupan los dispositivos de protección y los distribuyen hacia los distintos circuitos del sistema. Ambos componentes son fundamentales para asegurar un funcionamiento seguro y eficiente de las instalaciones eléctricas.

Las cajas eléctricas son componentes fundamentales en las instalaciones eléctricas ya que protegen las conexiones, brindan soporte a los interruptores y tomacorrientes, y permiten la distribución de cables. Existen varios tipos, cada uno diseñado para cumplir con funciones específicas:

- **Cajas de Paso:** Estas cajas se utilizan para permitir el paso de conductores a través de ellas sin realizar conexiones. Son esenciales en grandes instalaciones eléctricas donde se necesita cambiar la dirección del cableado sin interrupciones.
- **Cajas de Derivación:** Sirven para albergar las conexiones eléctricas entre diferentes circuitos. En ellas se realiza la distribución de corriente hacia distintos dispositivos o partes del sistema eléctrico.
- **Cajas de Conexión:** Son usadas en lugares donde se deben realizar conexiones entre diferentes cables o conductores eléctricos. Ofrecen una mayor protección y seguridad en las conexiones.
- **Cajas de Superficie y Empotradas:** Las cajas de superficie son montadas sobre las paredes y se utilizan cuando no se desea o no se puede empotrar el cableado. Las cajas empotradas, por el contrario, se instalan dentro de las

3.3.1. Tipos de Cajas Eléctricas



Figura 34 Cajas de conexión de uso común



paredes y permiten una instalación más discreta.

3.3.2. Funciones y Características de las Cajas Eléctricas

Las cajas eléctricas desempeñan funciones vitales para la seguridad y la organización de los circuitos eléctricos. Algunas de las principales funciones incluyen:

- **Protección de conexiones:** Las cajas eléctricas evitan que los cables expuestos queden en contacto con objetos o personas, reduciendo el riesgo de descargas eléctricas o cortocircuitos.
- **Distribución de circuitos:** Facilitan la distribución del cableado y las conexiones necesarias para dividir la corriente hacia diferentes dispositivos en el sistema eléctrico.
- **Organización de los cables:** Mantienen los cables organizados, evitando el cruce desordenado que puede ser peligroso y dificultar la localización de fallas.
- **Aislamiento:** Proporcionan aislamiento para evitar que las conexiones eléctricas entren en contacto con la estructura del edificio o con otras partes del sistema eléctrico, reduciendo el riesgo de descargas.

Características Clave:

- **Resistencia al fuego:** Las cajas eléctricas deben cumplir con estándares de resistencia al fuego para evitar que las

conexiones eléctricas causen incendios en caso de fallas.

- **Materiales de fabricación:** Suelen fabricarse de metal o PVC, dependiendo del lugar y el tipo de instalación. Las cajas metálicas se utilizan para instalaciones con mayores exigencias mecánicas, mientras que las de PVC son más comunes en instalaciones residenciales.

3.3.3. Tableros de Distribución Eléctrica: Componentes y Organización

Los tableros de distribución son esenciales para la gestión y el control de la energía en edificios e instalaciones eléctricas. Estos paneles agrupan los interruptores y otros dispositivos de protección que distribuyen la electricidad de manera segura hacia los distintos circuitos.

Los tableros de distribución dividen la energía y la envían a través de los sistemas de protección individuales de cada uno de los circuitos derivados para alimentar las cargas de cada circuito, con esto no solo se garantiza que cada circuito derivado quede aislado en caso de un siniestro sin afectar al resto de la instalación, también permite separar las cargas individuales para realizar tareas de mantenimiento o reemplazo de componentes sin tener que desconectar toda la instalación del suministro principal de energía.



Figura 35 Tablero de distribución eléctrica

Componentes Principales:

- Interruptores automáticos (disyuntores): Estos dispositivos se encargan de cortar el suministro eléctrico en caso de sobrecargas o cortocircuitos, protegiendo así los circuitos y los equipos conectados.

- Barras colectoras: Estas barras distribuyen la corriente desde el alimentador principal a los diferentes circuitos del edificio.
- Medidores de energía: Registran el consumo eléctrico de cada circuito o del sistema completo, permitiendo la gestión eficiente del consumo de energía.
- Interruptores diferenciales: Protegen contra fugas de corriente a tierra, evitando riesgos de electrocución y otros accidentes.

Organización del Tablero:

Los tableros de distribución están organizados de manera que los diferentes circuitos se dividen de forma lógica para facilitar su mantenimiento y operación. Es común que en un edificio haya un tablero principal que alimenta a varios subtableros, cada uno de los cuales maneja un conjunto de circuitos específicos.

3.4. Elementos de maniobra y control

Los elementos de maniobra y control, como interruptores, pulsadores, selectores, contactores y relés, son fundamentales en el control y la protección de sistemas eléctricos tanto en el ámbito residencial como industrial. Estos dispositivos permiten gestionar el flujo de corriente, asegurando una operación segura y eficiente de los equipos. Las acometidas eléctricas, por su parte, son esenciales para

llevar la energía desde la red hasta los consumidores, y su tipo (aérea o subterránea) depende de las necesidades específicas del entorno.

3.4.1. Interruptores, Pulsadores y Selectores: Tipos y Aplicaciones

Los elementos de maniobra y control son dispositivos que permiten el control manual o automático de los circuitos eléctricos. Entre los más

comunes se encuentran los interruptores, pulsadores y selectores, que desempeñan funciones clave en la operación de equipos eléctricos.

Interruptores:

Los interruptores son dispositivos utilizados para abrir o cerrar circuitos eléctricos, permitiendo o interrumpiendo el paso de corriente. Pueden ser:

- Unipolares: Controlan un solo conductor en un circuito.
- Bipolares: Controlan simultáneamente dos conductores, como la fase y el neutro.
- Conmutadores: Permiten alternar entre dos circuitos diferentes.

Pulsadores:

Los pulsadores son dispositivos de control momentáneo que permiten el paso de corriente solo mientras se mantiene presionado el botón. Pueden ser utilizados para iniciar o detener máquinas, sistemas de control, o dispositivos de seguridad. Se clasifican en:

- Pulsadores normalmente abiertos (NA): Al presionar, cierran el circuito permitiendo el paso de corriente.
- Pulsadores normalmente cerrados (NC): Al presionar, abren el circuito, interrumpiendo el paso de corriente.

Selectores:

Los selectores son dispositivos de maniobra que permiten seleccionar entre diferentes circuitos o

funciones. Se utilizan en sistemas donde es necesario cambiar entre diferentes modos de operación. Pueden ser rotativos o lineales, y se emplean en tableros de control para alternar entre diferentes modos de operación, como el encendido o apagado de motores.

3.4.2. Contactores y Relés: Funcionamiento y Tipos

Los contactores y relés son dispositivos electromecánicos que permiten controlar circuitos eléctricos de potencia utilizando una señal de control de baja potencia. Son esenciales en sistemas industriales para el control de motores, iluminación, y otros equipos eléctricos.

Contactores:



Figura 36 Contactor eléctrico

Son dispositivos que permiten abrir o cerrar circuitos de alta corriente mediante una señal de control de baja corriente. Se utilizan comúnmente en el control de motores eléctricos y sistemas de iluminación industrial. Los contactores tienen contactos móviles que se cierran o abren cuando se aplica una corriente a la bobina.



Aplicaciones: Control de motores, sistemas de iluminación, calefacción industrial, y otros sistemas que requieren control remoto de grandes cantidades de corriente.

Relés:

Funcionan de manera similar a los contactores, pero están diseñados para corrientes más pequeñas. Los

relés se activan con una señal de control y permiten el paso de corriente a través de los contactos para activar o desactivar un circuito. Se utilizan tanto en sistemas de control industrial como en aplicaciones domésticas.

Tipos de Relés: Existen relés electromecánicos, de estado sólido, temporizados, entre otros.

La siguiente tabla muestra las diferencias entre contactores y relés

Característica	Contactor	Relé
Dispositivo	Alta potencia	Baja potencia
Capacidad de carga	15A a 12500A	10A a 15A
Diseño	Aplicaciones trifásicas	Aplicaciones monofásicas
Componentes de seguridad	Contactos accionados por resorte, supresión de ARC	No posee características avanzadas de seguridad
Velocidad de conmutación	Más lenta	Más rápida, funciona con señales electrónicas
Consumo de energía	Mayor, debido a electroimanes grandes	Menor, debido a electroimanes pequeños
Costo	Más alto	Más bajo
Tamaño	Más grande y pesado	Más pequeño y liviano

3.5. Acometidas y medidores

3.5.1. Tipos de Acometidas Eléctricas

Las acometidas eléctricas son los sistemas encargados de llevar la energía eléctrica desde la red de distribución hasta las instalaciones

del usuario. Existen varios tipos, dependiendo del entorno y los requerimientos técnicos.

Acometidas Aéreas:

Este tipo de acometida se realiza mediante cables que se instalan en

postes de distribución aérea. Es la opción más común en áreas urbanas y rurales, debido a su menor costo de instalación.

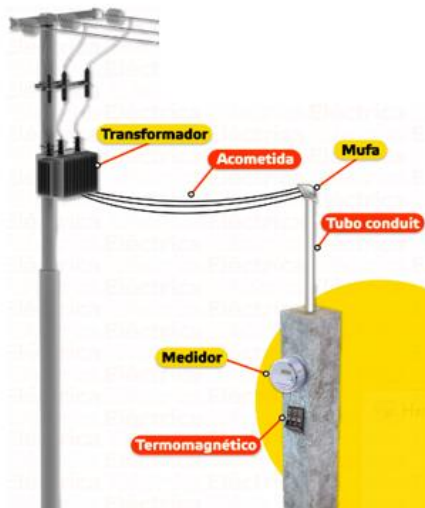


Figura 37 conexión de una acometida aérea

Acometidas Subterráneas:

En este tipo de acometida, los cables se instalan bajo tierra, lo que ofrece mayor seguridad y reduce el impacto visual. Sin embargo, su instalación es más costosa y requiere mayores trabajos de infraestructura.

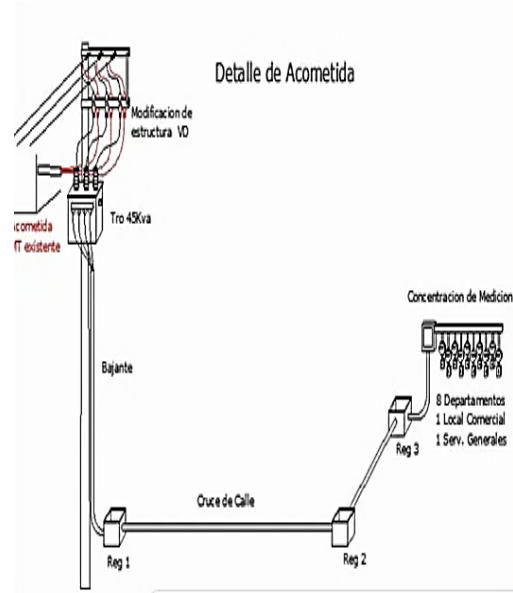


Figura 38 conexión acometida subterránea

Acometida Mixta:

Este tipo combina características de las acometidas aéreas y subterráneas. Es utilizada en zonas donde, por razones geográficas o de infraestructura, se requiere el uso de ambas tecnologías para llegar al consumidor final.

3.5.2. Componentes de una Acometida Eléctrica

Una acometida eléctrica está compuesta por varios elementos clave que garantizan el suministro seguro y eficiente de la energía. Los componentes más importantes son:

- Conductores: Transportan la electricidad desde el punto de conexión con la red de distribución hasta el cuadro de distribución del cliente.
- Medidores: Registran el consumo de energía eléctrica para fines de facturación.
- Tableros de distribución: Distribuyen la energía



eléctrica a los diferentes circuitos del inmueble.

- Protecciones: Como fusibles o interruptores automáticos,

que evitan daños a la instalación eléctrica en caso de cortocircuitos o sobrecargas.

Cuestionario Unidad 3

1. ¿Cuál de los siguientes es el material más comúnmente utilizado para conductores eléctricos?

- A) Hierro
- B) Aluminio
- C) Oro
- D) Cobre

2. ¿Qué característica importante tienen los conductores de aluminio comparado con los de cobre?

- A) Son más ligeros
- B) Conducen mejor la electricidad
- C) Son más costosos
- D) Tienen menor resistencia eléctrica

3. ¿Qué propiedad deben tener los conductores para minimizar las pérdidas de energía?

- A) Alta resistencia
- B) Alta conductividad
- C) Baja conductividad
- D) Alta inductancia

4. ¿Cuál de los siguientes es un tipo de ducto utilizado en instalaciones eléctricas?

- A) PVC
- B) Madera
- C) Vidrio
- D) Plástico reciclado



5. ¿Cuál es la principal ventaja de los ductos metálicos en comparación con los de PVC?

- A) Son más baratos
- B) Son más ligeros
- C) Ofrecen una mayor protección mecánica
- D) Son flexibles

6. ¿Cuál es la función principal de un interruptor automático (disyuntor)?

- A) Conectar y desconectar manualmente los circuitos
- B) Proteger los circuitos de sobrecargas y cortocircuitos
- C) Regular el voltaje
- D) Actuar como transformador

7. ¿Qué sucede cuando un disyuntor detecta una sobrecarga eléctrica?

- A) Disminuye la corriente automáticamente
- B) Corta la corriente eléctrica
- C) Aumenta la tensión
- D) No hace nada

8. ¿Qué tipo de fusible está diseñado para proteger equipos delicados contra picos de corriente?

- A) Fusible de acción rápida
- B) Fusible de acción retardada
- C) Fusible térmico
- D) Fusible de potencia

9. ¿Cuál es la función de un interruptor diferencial?

- A) Proteger contra sobrecorriente
- B) Detectar fugas a tierra y desconectar el circuito
- C) Regular el voltaje de salida
- D) Controlar la potencia eléctrica

10. ¿Qué característica distingue a los interruptores diferenciales?

- A) Su capacidad para detectar fugas de corriente
- B) Su resistencia al calor
- C) Su capacidad para regular el voltaje
- D) Su capacidad para incrementar la corriente

11. ¿Cuál de los siguientes tipos de cajas eléctricas se usa comúnmente para conexiones y derivaciones de cables?

- A) Caja de paso
- B) Caja de derivación
- C) Caja de conexión
- D) Caja metálica

12. ¿Cuál es la función principal de una caja de paso en una instalación eléctrica?

- A) Conectar dispositivos eléctricos
- B) Proteger las conexiones eléctricas
- C) Almacenar cables en exceso



- D) Montar interruptores
13. ¿Qué componente principal tiene un tablero de distribución eléctrica?
- A) Transformadores
 - B) Disyuntores
 - C) Conductores
 - D) Ductos
14. ¿Cuál es la función de los tableros de distribución eléctrica?
- A) Proteger los dispositivos eléctricos de sobrecargas
 - B) Regular el voltaje
 - C) Distribuir la energía eléctrica a diferentes circuitos
 - D) Transformar la energía
15. ¿Cómo se organiza típicamente un tablero de distribución eléctrica?
- A) En secciones para diferentes niveles de voltaje
 - B) De acuerdo al color de los conductores
 - C) Según el fabricante
 - D) En función de la potencia máxima permitida
16. ¿Cuál es la diferencia principal entre un interruptor y un pulsador?
- A) Los interruptores se mantienen en posición, los pulsadores no
 - B) Los pulsadores son más grandes
 - C) Los interruptores son más caros
 - D) Los pulsadores se usan solo para equipos industriales
17. ¿Para qué se utiliza un selector en una instalación eléctrica?
- A) Conmutar entre diferentes circuitos
 - B) Regular el voltaje
 - C) Actuar como fusible
 - D) Transformar la corriente
18. ¿Cuál es una de las aplicaciones principales de los contactores?
- A) Para controlar motores eléctricos
 - B) Para proteger contra sobrecargas
 - C) Para medir el consumo eléctrico
 - D) Para cambiar la fase de la corriente
19. ¿Cuál es la característica principal de una acometida aérea?
- A) Los cables están enterrados
 - B) Los cables están expuestos y conectados por postes
 - C) Los cables son invisibles
 - D) Utiliza conductores de oro
20. ¿Cuál es una ventaja de las acometidas subterráneas sobre las aéreas?
- A) Son más baratas
 - B) Son menos propensas a daños por el clima
 - C) Son más fáciles de instalar



D) Tienen una mayor
resistencia eléctrica

21. ¿Cuál de los siguientes
elementos se instala para proteger
la acometida eléctrica?

- A) Disyuntor
- B) Transformador
- C) Cajas eléctricas



4.1. Esquemas y diagramas eléctricos

Los esquemas y diagramas eléctricos son representaciones gráficas utilizadas para ilustrar cómo se conectan los componentes en un circuito eléctrico. Se utilizan en instalaciones residenciales, comerciales e industriales para planificar y ejecutar proyectos eléctricos.

Elementos básicos de un esquema eléctrico

En un esquema de este tipo se suele emplear una serie de símbolos que representan los diferentes dispositivos eléctricos que forma parte de una instalación. En la norma EN 60617 podemos ver los

diferentes símbolos gráficos que se pueden emplear.

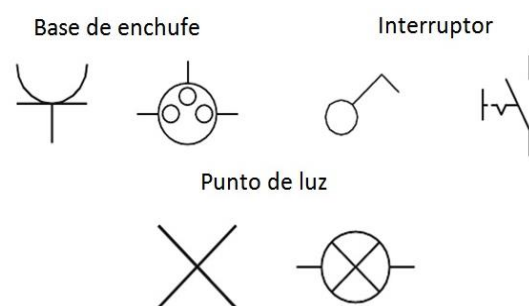


Figura 39 Elementos básicos de un esquema eléctrico

Tipos de esquemas eléctricos

Entre los diferentes tipos de esquemas que podemos encontrar,

y que detallaremos más adelante, los más importantes son:

- **El esquema explicativo:** Se emplea principalmente en las primeras etapas del diseño de un sistema. Define las diferentes unidades funcionales que componen el sistema y que pueden coincidir con uno o varios elementos del circuito final. No se emplea ninguna simbología específica y las líneas del diagrama no representan nada más allá de la relación entre los elementos que lo forman. En definitiva, se trata de un mapa conceptual del sistema.



Figura 40 esquema explicativo de una habitación de una vivienda

- **El esquema topográfico o de emplazamiento:** En este caso se muestran los principales elementos de la instalación en la que sería su ubicación física en el espacio. De este modo, al saber dónde debe ir cada dispositivo se puede coordinar la obra eléctrica con el resto de actores del proyecto como, por ejemplo, la obra civil.

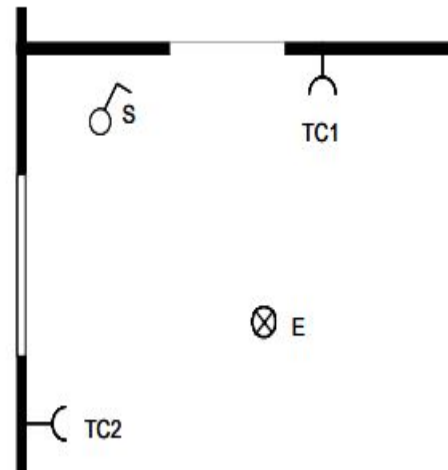


Figura 41 los diferentes dispositivos eléctricos de una habitación y su ubicación en el espacio

- **El esquema funcional o de circuito:** Este esquema es considerado uno de los más utilizados en el ámbito eléctrico. Su representación no solo es esencial durante la fase de diseño.

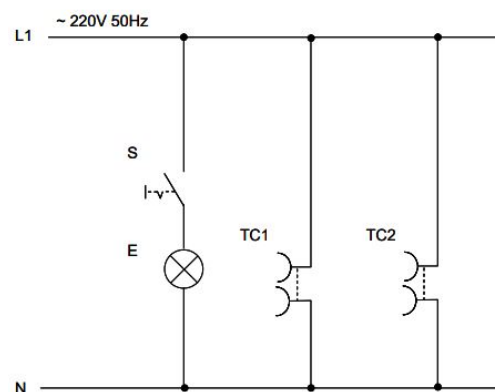


Figura 42 Esquema de los elementos a instalar en una habitación

- **El esquema de conexiones o instalación:** Este tipo de gráficos se emplea principalmente en la fase de ejecución de la obra. En ellos puede incluso resultar muy complicado deducir el funcionamiento del circuito,



pero definen excelentemente cuestiones esenciales para el instalador como cuántos conductores pasan por una determinada

canalización o, si se representa sobre el plano, la longitud de cada tramo de cableado.

4.2 Plano Eléctrico

El plano eléctrico es una parte fundamental en cualquier instalación eléctrica. Es un documento técnico donde se especifican las conexiones, la ubicación de los componentes y el trazado de los circuitos.

Un plano eléctrico sencillo puede incluir todos estos detalles esenciales que se describen a continuación:

- Interconexión de los cables eléctricos y otras partes del sistema
- Conexión de los diferentes componentes y accesorios al sistema
- Líneas eléctricas con detalles como el tamaño, la tensión, la potencia y la capacidad
- Los transformadores de potencia y también sus conexiones de bobinado
- Los interruptores principales, el disyuntor y los interruptores con fusibles
- Otros equipos esenciales como paneles solares, baterías, generadores, aire acondicionado, etc.

Propósitos del plano eléctrico

- Estos planos son vitales para documentar, comunicar información y solucionar

problemas de tus sistemas eléctricos in situ.

- Unos planos precisos y actualizados hacen que tu edificio cumpla con todas las normativas del código.
- Un plano abarca todos los aspectos. Se centra en áreas como la iluminación, la electrónica, los aparatos, etc.
- También tiene en cuenta la estructura del edificio. Por ejemplo, si un edificio tiene barandillas, escaleras o cualquier otro componente, se harán las modificaciones pertinentes.
- Es una herramienta de planificación exhaustiva porque ofrece una visión en profundidad del sistema eléctrico y de cableado de tu edificio.
- Ayuda a distribuir la energía a los distintos aparatos y equipos mediante un funcionamiento e instalación precisos de los elementos.

Beneficios del plano eléctrico

- Un plan pone de manifiesto todos los riesgos potenciales para realizar modificaciones rápidamente antes de que se produzca cualquier daño importante.

- Ayuda a garantizar que tu sistema funcione de forma segura, eficiente y sin problemas.
- Un plano eléctrico ahorra tiempo al evitar retrasos y problemas. Un borrador lo señala todo para evitar situaciones de peligro; por lo tanto, ayuda a los profesionales a completar tu trabajo a tiempo.
- También, ahorra dinero porque a nadie le apetece gastar más dinero del que ya

tiene. Un borrador incluye todos los detalles, como la longitud del cable, el tipo de cables y otras piezas que necesitarás para completar tu proyecto. Así, no tendrás que gastar una cantidad considerable de dinero en cosas innecesarias.

- Un plan eléctrico previene las lesiones porque señala todas las zonas del edificio previstas que pueden perjudicar a un técnico.

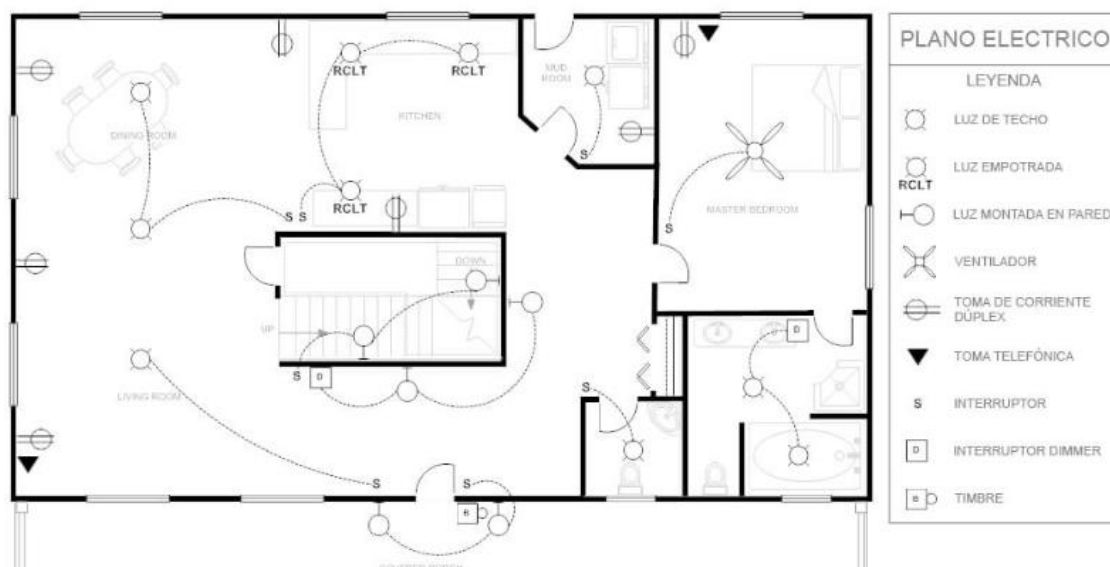


Figura 43 Ejemplo de una plano eléctrico

4.3 Aplicación en Instalaciones Eléctricas

Las instalaciones eléctricas pueden ser residenciales, comerciales o industriales, y su diseño se basa en los esquemas y diagramas que garantizan la eficiencia y seguridad.

- Residencial: Implica la conexión de electrodomésticos, iluminación y otros dispositivos de bajo consumo. El esquema eléctrico debe

prever la futura ampliación de los circuitos y asegurar el uso de interruptores diferenciales y disyuntores.

- Comercial: Implica mayores cargas, por lo que requiere esquemas más detallados que incluyan sistemas de protección avanzada como fusibles y sistemas de puesta a tierra más robustos.



- Aplicaciones: Un buen diseño de instalación eléctrica optimiza el consumo de

energía, previene riesgos eléctricos y facilita el mantenimiento a futuro.

4.4 Normativas y Códigos Eléctricos para Instalaciones Residenciales y Comerciales

Las normativas eléctricas son esenciales para asegurar que las instalaciones cumplan con los requisitos de seguridad, eficiencia y calidad. A nivel internacional, estas normativas están regidas por diversos organismos.

- Norma IEC: A nivel internacional, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) establece estándares para instalaciones seguras.
- Código Eléctrico Nacional (NEC): En muchos países, se sigue el NEC, que dicta las regulaciones para instalaciones eléctricas

seguras en edificios residenciales y comerciales.

- Reglamento de Baja Tensión (REBT): Especifica los requisitos técnicos que deben cumplir las instalaciones eléctricas para proteger a los usuarios y equipos.
- NFPA 70 National Electrical Code 2011
- CPE INEN 019 Código Eléctrico Ecuatoriano
- IEC 60617 Graphical Symbols for Diagrams
- NTE INEN 2345 Alambres y cables con aislamiento termoplástico. Requisitos.
- NTE INEN 3098, Voltajes Normalizados

4.5 Seguridad en Circuitos e Instalaciones

La seguridad en instalaciones eléctricas es crucial para prevenir accidentes como electrocuciones, incendios y daños a los equipos.

- Protección contra sobrecargas: El uso de interruptores automáticos y fusibles protege los circuitos de sobrecargas que pueden dañar los equipos o provocar incendios.

- Puesta a Tierra: La correcta instalación de sistemas de puesta a tierra garantiza que las corrientes de fuga no afecten a los usuarios.
- Mantenimiento Regular: Un sistema eléctrico bien diseñado debe incluir revisiones periódicas para identificar puntos calientes, posibles cortocircuitos, y asegurar que los sistemas de



protección funcionen
correctamente.

Cuestionario Unidad 4

1. ¿Cuál es la principal función de los esquemas eléctricos?

- a) Representar físicamente los componentes eléctricos.
- b) Planificar y ejecutar proyectos eléctricos mediante representaciones gráficas.
- c) Representar los cálculos de consumo eléctrico.
- d) Calcular la potencia total de un sistema eléctrico.

2. ¿Qué norma internacional regula los símbolos gráficos en esquemas eléctricos?

- a) IEC 60617
- b) NEC
- c) NFPA 70
- d) REBT

3. ¿Cuál de los siguientes esquemas se utiliza principalmente en la fase de diseño de un sistema eléctrico?

- a) Esquema de instalación
- b) Esquema explicativo
- c) Esquema topográfico
- d) Esquema de conexiones

4. ¿Para qué se utiliza principalmente el esquema funcional o de circuito?

- a) Representar la ubicación física de los componentes.
- b) Detallar las relaciones conceptuales entre los elementos.
- c) Definir el funcionamiento eléctrico de un sistema.



d) Representar el cableado y la longitud de los conductores.

5. ¿Qué tipo de esquema es ideal para planificar la ubicación física de los dispositivos en un espacio?

- a) Esquema funcional
- b) Esquema topográfico
- c) Esquema explicativo
- d) Esquema de conexiones

6. ¿Qué información es más difícil de deducir en un esquema de instalación?

- a) El número de conductores en una canalización
- b) El funcionamiento del circuito
- c) La ubicación de los componentes
- d) La longitud de los cables

7. ¿Cuál es el propósito principal de un plano eléctrico?

- a) Mostrar el diseño arquitectónico de un edificio.
- b) Especificar conexiones y ubicación de los componentes eléctricos.
- c) Calcular el consumo energético de una instalación.
- d) Determinar la cantidad de energía generada por un panel solar.

8. ¿Qué aspecto de una instalación eléctrica está cubierto en un plano eléctrico?

- a) Las interconexiones y el trazado de los circuitos
- b) La velocidad de los dispositivos eléctricos
- c) La frecuencia de revisión del sistema
- d) El tipo de electrodomésticos conectados

9. ¿Cuál es un beneficio clave de un plano eléctrico bien elaborado?

- a) Aumenta el costo total de la instalación.
- b) Ayuda a cumplir las normativas del código eléctrico.
- c) Reduce la eficiencia del sistema eléctrico.
- d) Garantiza que el sistema no requiera mantenimiento.

10. ¿Qué normativa es esencial para instalaciones residenciales y comerciales en varios países?

- a) NEC (National Electrical Code)
- b) Código INEN
- c) IEC 60364
- d) Reglamento de Baja Tensión (REBT)

11. ¿Qué elemento no es común en un plano eléctrico?



- a) La ubicación de conductores y canalizaciones
- b) El tamaño de los disyuntores
- c) La potencia de los electrodomésticos
- d) La disposición de los muebles en el edificio

12. ¿Qué dispositivo se utiliza para proteger contra sobrecargas en un sistema eléctrico?

- a) Interruptor diferencial
- b) Fusible
- c) Panel solar
- d) Transformador



**INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO PELILEO**

TOMO 2:

SISTEMAS DE CONTROL



CONTENIDOS

01

UNIDAD UNO FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE CONTROL

- 4.6. Introducción a sistemas de control
- 4.7. Componentes de un sistema de control.
- 4.8. Tipos de sistemas de control.
- 4.9. Control en lazo abierto y cerrado.
- 4.10. Características de los tipos de control existentes en la industria.
- 4.11. Aplicación de los sistemas de control.

UNIDAD DOS SISTEMAS DE CONTROL EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

02

- 2.1. Análisis de la respuesta transitoria y estacionaria.
- 2.2. Sistemas de Primer orden.
- 2.3. Sistemas de Segundo orden.
- 2.4. Sistemas de Grado superior.
- 2.5. Criterio de estabilidad.

UNIDAD TRES REDUCCIÓN DE SISTEMAS

- 3.1. Reducción de sistemas: Introducción a la representación de sistemas.
- 3.2. Sistemas SISO y MIMO.
- 3.3. Reducción de diagramas de flujo de señales



03

01



1.1. Introducción a sistemas de control



Los sistemas de control son esenciales en la vida diaria y en la industria, desde electrodomésticos hasta vehículos espaciales. Permiten optimizar procesos industriales y

mejorar la calidad y eficiencia de la producción. Utilizan componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos, entre otros. Es crucial que los ingenieros comprendan las

leyes físicas que rigen estos componentes.

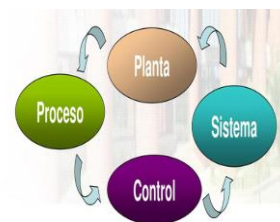


Figura 1 Elementos de un sistema de control

1.2. Componentes de un sistema de control.

Los sistemas de control están compuestos por varios elementos clave que trabajan juntos para regular el comportamiento de un sistema. Aquí te explico los componentes principales:



Figura 2 Planta de Hidrocarburos

Planta: Es el sistema físico que se desea controlar. Puede ser cualquier cosa, desde un motor eléctrico hasta un proceso químico.

Sensor: Dispositivo que mide la salida del sistema y proporciona retroalimentación al controlador. Ejemplos incluyen termómetros, acelerómetros y sensores de presión.

Controlador: Compara la salida medida con la salida deseada y genera una señal de control para minimizar la diferencia. Puede ser un dispositivo mecánico, electrónico o un software.

Actuador: Convierte la señal de control en una acción física que afecta la planta. Ejemplos incluyen motores, válvulas y relés.

Referencia (Setpoint): Es el valor deseado de la salida del sistema. El controlador intenta mantener la salida del sistema lo más cerca posible de este valor.

Retroalimentación: Es la información que el sensor envía al controlador sobre la salida actual del sistema. Permite al controlador ajustar sus acciones para corregir cualquier desviación del setpoint.

1.3 Tipos de sistemas de control.

Los sistemas de control son fundamentales en la automatización y regulación de procesos en una variedad de industrias. Básicamente, un sistema de control es un conjunto de dispositivos o mecanismos que

1.3.2 Sistemas de Control de Lazo Abierto

En estos sistemas, la acción de control es independiente de la salida. No hay retroalimentación que ajuste la acción de control. Ejemplos comunes incluyen una lavadora que sigue un ciclo predefinido sin medir la limpieza de la ropa.



Figura 3 Control lazo Abierto

1.3.2 Sistemas de Control de Lazo Cerrado:

También conocidos como sistemas de control con retroalimentación, estos sistemas ajustan la acción de control basándose en la salida. Un ejemplo es un termostato que regula la temperatura de una habitación midiendo la temperatura actual y ajustando el calentador en consecuencia.

Un sistema de control generalmente incluye los siguientes elementos:

manejan, dirigen o regulan el comportamiento de otros sistemas para alcanzar un objetivo específico. Estos sistemas pueden ser clasificados en dos tipos principales: **sistemas de control abiertos y sistemas de control cerrados.**



Figura 4 Control Lazo Cerrado

Sensor: Mide la variable de interés (por ejemplo, temperatura, presión, velocidad).

Controlador: Procesa la información de los sensores y toma decisiones para ajustar el sistema (ej. PLCs, controladores PID).

Actuador: El dispositivo que realiza la acción física, como válvulas, motores o calentadores.

Proceso o planta: El sistema que está siendo controlado.

Tipos de Controladores

Controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo): Es el más común en sistemas de control cerrados. Utiliza tres acciones de control: proporcional, integral y derivativa para ajustar el comportamiento del sistema y minimizar el error.



Controlador Lógico Programable (PLC): Utilizado en la automatización industrial para controlar maquinarias y procesos. Los PLCs son altamente configurables y pueden programarse para realizar una amplia variedad de funciones de control.

Aplicaciones

Automatización Industrial: Los sistemas de control regulan líneas de

producción, robots, máquinas CNC, etc.

Aeronáutica: Controlan sistemas de vuelo y estabilidad en aeronaves.

Electrodomésticos: Control de lavadoras, refrigeradores, y sistemas de calefacción.

Vehículos: Controlan sistemas como el freno ABS, control de tracción y sistemas de inyección de combustible.

1.4. Control en lazo abierto y cerrado.

La generación de corriente alterna (A.C.) es un aspecto fundamental de la ingeniería eléctrica y la producción de energía. A diferencia de la corriente continua (D.C.), donde el flujo de electricidad es unidireccional, la corriente alterna cambia de dirección periódicamente. Este tipo de corriente es el más utilizado para la transmisión y distribución de electricidad en sistemas de potencia debido a sus ventajas en términos de eficiencia y facilidad de transformación de voltajes.

1.4.1. Control en Lazo Abierto

Un sistema de control en lazo abierto es aquel en el que la acción de control no depende de la salida del sistema. En otras palabras, no hay retroalimentación que ajuste la acción de control. Estos sistemas son más simples y menos costosos, pero también menos precisos y menos capaces de adaptarse a cambios en el entorno.

Características:

Sin retroalimentación: La acción de control se realiza sin considerar el estado actual de la salida.

- **Simplicidad:** Son más fáciles de diseñar y mantener.
- **Menor precisión:** No pueden corregir errores automáticamente.

Ejemplo:

Un horno de microondas que calienta durante un tiempo predefinido sin medir la temperatura de los alimentos.

Diagrama de Bloques:

- Entrada: Señal de referencia.
- Controlador: Procesa la señal de entrada.
- Actuador: Ejecuta la acción de control.
- Proceso: El sistema que se está controlando.

1.4.2. Control en Lazo Cerrado

Definición y Funcionamiento

Los transformadores Un sistema de control en lazo cerrado, también conocido como sistema de control con retroalimentación, ajusta la acción de control basándose en la salida del sistema. Esto permite una mayor precisión y capacidad de adaptación a cambios en el entorno.

Características:

- Con retroalimentación: La acción de control se ajusta continuamente en función de la salida.
- Mayor precisión: Puede corregir errores automáticamente.
- **Complejidad:** Son más complejos y costosos de diseñar y mantener.

Ejemplo:

Un termostato que regula la temperatura de una habitación midiendo la temperatura actual y ajustando el calentador en consecuencia.

Diagrama de Bloques:

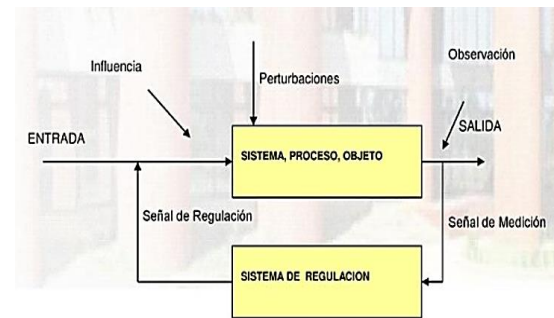


Figura 5. Diagrama de Bloques

- Entrada: Señal de referencia.
- Controlador: Procesa la señal de entrada.
- Actuador: Ejecuta la acción de control.
- Proceso: El sistema que se está controlando.
- Sensor: Mide la salida del sistema.
- Comparador: Compara la salida medida con la señal de referencia y genera una señal de error.

1.5. Características de los tipos de control

En la industria, los sistemas de control se clasifican en diferentes tipos según su naturaleza, complejidad, y aplicación. A continuación, se presentan las características de los principales tipos de sistemas de control utilizados en el ámbito industrial.

1.5.1. Sistemas de Control Automático

Estos sistemas operan sin la intervención humana directa una vez que se han configurado. Dentro

de los sistemas de control automáticos, podemos encontrar diferentes subtipos:

A. Sistemas de Control de Lazo Abierto

Características:

- No existe retroalimentación del proceso.
- La acción del controlador es independiente de la salida del sistema.



- Utilizado en procesos donde las condiciones no varían mucho.

Aplicaciones:

- Sistemas de calefacción sin termostato.
- Sistemas de iluminación temporizada.

Ventajas:

- Simplicidad y bajo costo.
- Menos sensores y componentes.

Desventajas:

- No pueden corregir errores ni adaptarse a cambios en el entorno.
- Baja precisión en entornos variables.

B. Sistemas de Control de Lazo Cerrado

Características:

- La salida es medida y retroalimentada para ajustar la acción del controlador.
- Capaz de corregir perturbaciones y reducir el error en tiempo real.

Aplicaciones:

- Sistemas de control de temperatura (termostatos).
- Control de velocidad en motores.

Ventajas:

- Alta precisión y estabilidad.
- Capacidad de adaptarse a cambios en el entorno.

Desventajas:

- Más costoso y complejo que los sistemas de lazo abierto.
- Requiere mantenimiento regular.

1.5.2. Sistemas de Control Discreto

El control ocurre en intervalos discretos de tiempo, no de forma continua. Emplea señales digitales (en lugar de analógicas).

Aplicaciones:

- Control de procesos en computadoras y microcontroladores.
- Controladores Lógicos Programables (PLC) para automatización industrial.

Ventajas:

- Alta velocidad y capacidad para manejar operaciones complejas.
- Adecuado para integración con sistemas digitales.

Desventajas:

Requiere discretización del sistema continuo, lo que puede provocar errores de cuantización.

1.5.3. Sistemas de Control Adaptativo

Características:

- Capaces de ajustar sus parámetros de control automáticamente en función de cambios en las condiciones del proceso.
- Utilizan algoritmos avanzados para optimizar el rendimiento.



Aplicaciones:

- Industria aeronáutica y espacial.
- Procesos industriales con variaciones significativas en las condiciones operativas.

Ventajas:

- Muy eficaces para sistemas complejos y variables.

- Capaces de optimizar el rendimiento en tiempo real.

Desventajas:

- Gran complejidad en su diseño y configuración.
- Mayor costo de implementación y mantenimiento.

1.6. Aplicación de los sistemas de control.

Los sistemas de control se utilizan en diversas áreas para regular el comportamiento de otros sistemas.

Aplicación	Descripción	Ejemplo
Control de Procesos Industriales	Control de variables como temperatura, presión, caudal y nivel en procesos productivos.	Control de temperatura en refinerías.
Automatización de Edificios	Gestión de sistemas de climatización, iluminación y seguridad para optimizar energía y confort.	Control de HVAC en edificios inteligentes.
Control en Robótica	Regulación de movimientos y sensores para tareas automatizadas en robots industriales y móviles.	Robots de ensamblaje automatizado.
Control en Automóviles	Control de sistemas como tracción, estabilidad y asistencia al conductor.	Control de estabilidad electrónica (ESC).
Generación y Distribución de Energía	Supervisión y ajuste de variables en plantas eléctricas para asegurar el suministro eficiente.	Control de turbinas en centrales hidroeléctricas.



Aeronáutica y Espacio	Sistemas de control de vuelo, navegación y estabilidad en aeronaves y satélites.	Autopiloto en aviones comerciales.
Telecomunicaciones	Gestión de redes para optimizar el uso del ancho de banda y garantizar la transmisión de datos.	Control de tráfico en redes móviles.
Sistemas de Salud	Control de equipos médicos que regulan variables fisiológicas y tratamientos automatizados.	Control de flujo en bombas de infusión.
Agricultura Automatizada	Automatización en la agricultura para mejorar la eficiencia del riego y el control de invernaderos.	Sistemas de control climático en invernaderos.
Sistemas de Transporte	Control de velocidad, frenado y coordinación de rutas en sistemas de transporte automatizado.	Sistemas de control de tráfico ferroviario.

Cuestionario Capítulo 1

1. ¿Cuál de las siguientes características describe un sistema de control de lazo abierto?

- a) El sistema ajusta automáticamente la salida en función de la retroalimentación.
- b) El sistema no utiliza la retroalimentación para ajustar la salida.
- c) La salida se compara con la referencia para minimizar el error.
- d) El sistema siempre requiere sensores para funcionar.

2. ¿Cuál es una ventaja de los sistemas de lazo abierto?

- a) Son más precisos que los sistemas de lazo cerrado.
- b) Son más simples y económicos de implementar.
- c) Pueden corregir perturbaciones en tiempo real.
- d) No tienen errores en la salida.

3. ¿Cuál de los siguientes ejemplos corresponde a un sistema de control de lazo abierto?



- a) Un sistema de control de temperatura que ajusta el calor basándose en la lectura de un termostato.
- b) Un ventilador eléctrico que gira a velocidad constante cuando se enciende.
- c) Un sistema de piloto automático en un avión.
- d) Un motor eléctrico que ajusta su velocidad según la carga aplicada.

4. ¿Cómo se define un sistema de control de lazo cerrado?

- a) Es un sistema donde no se compara la salida con la referencia.
- b) Es un sistema que ajusta la salida basándose en la diferencia entre la salida real y el valor de referencia.
- c) Es un sistema que opera únicamente con entradas fijas.
- d) Es un sistema donde la retroalimentación no juega ningún rol.

5. ¿Cuál de los siguientes es un ejemplo de un sistema de lazo cerrado?

- a) Un control de iluminación con un temporizador.
- b) Un horno que ajusta la temperatura en función de un termostato.
- c) Un reproductor de música que sigue una lista de canciones.
- d) Un reloj de pared tradicional.

6. ¿Cuál es una desventaja común de los sistemas de lazo cerrado?

- a) No pueden adaptarse a cambios en las condiciones externas.
- b) Suelen ser más complejos y costosos de implementar que los sistemas de lazo abierto.
- c) No utilizan retroalimentación para ajustar la salida.
- d) Tienen una mayor tasa de errores en la salida.

7. ¿Cuál es una ventaja de los sistemas de lazo cerrado sobre los de lazo abierto?

- a) Son más simples de diseñar.
- b) Son capaces de corregir errores y adaptarse a perturbaciones.
- c) Son más económicos de implementar.
- d) Siempre funcionan sin necesidad de sensores.

8. En un sistema de lazo cerrado, la señal que se compara con la entrada de referencia se llama:

- a) Señal de perturbación.
- b) Señal de error.
- c) Señal de salida.
- d) Señal de retroalimentación.

9. ¿Qué función cumple la retroalimentación en un sistema de lazo cerrado?

- a) Aumentar la complejidad del sistema.



- b) Comparar la salida con la entrada de referencia y ajustar el sistema para minimizar el error.
- c) Eliminar la necesidad de controladores.
- d) Hacer que el sistema funcione sin energía.

10. ¿Cuál de los siguientes sistemas sería más adecuado para un control

preciso en presencia de perturbaciones externas?

- a) Un sistema de control de lazo abierto.
- b) Un sistema de control de lazo cerrado.
- c) Un sistema sin control automático.
- d) Un sistema que solo opera bajo condiciones ideales.



02

SISTEMAS DE CONTROL EN EL DOMINIO DEL TIEMPO



2. Sistemas de control en el dominio del tiempo

El análisis de sistemas en el dominio del tiempo se centra en estudiar cómo las variables de un sistema cambian con el tiempo. Este enfoque es crucial para entender y diseñar sistemas de control que respondan adecuadamente a diferentes entradas y perturbaciones.

Características Principales

1. Respuesta Transitoria:

- Describe cómo un sistema responde a una entrada desde el estado inicial hasta que alcanza un estado estable.
- Incluye parámetros como el tiempo de subida, el tiempo de asentamiento, el sobreimpulso y el tiempo de retardo.

2. Respuesta en Estado Estable:

- Describe el comportamiento del sistema una vez que ha alcanzado un estado de equilibrio.
- Se evalúa mediante el error en estado estable, que es la diferencia entre la salida deseada y la salida real del sistema.

3. Estabilidad.

- Un sistema es estable si, ante una entrada acotada, la salida también es acotada.

- La estabilidad se puede analizar observando la ubicación de los polos del sistema en el plano complejo.

4. Controladores PID:

- Los controladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID) son ampliamente utilizados para mejorar la respuesta transitoria y en estado estable.
- Ajustan la acción de control en función del error actual (P), la integral del error pasado (I) y la derivada del error futuro (D).

Ejemplos de Aplicación

- **Control de Temperatura:** En sistemas de calefacción, el controlador ajusta la potencia del calentador para mantener una temperatura deseada.
- **Control de Velocidad:** En motores eléctricos, el controlador ajusta la corriente para mantener una velocidad constante.
- **Control de Posición:** En sistemas robóticos, el controlador ajusta los actuadores para mover un brazo robótico a una posición específica.



2.1. Análisis de la respuesta transitoria y estacionaria.

La respuesta transitoria de un sistema es la parte de la respuesta total que desaparece con el tiempo. Esta respuesta se observa inmediatamente después de aplicar una entrada y antes de que el sistema alcance su estado estacionario.

Características Clave:

Tiempo de Subida: El tiempo que tarda la respuesta en pasar de un valor bajo (generalmente 10%) a un valor alto (generalmente 90%) de su valor final.

Tiempo de Asentamiento: El tiempo que tarda la respuesta en permanecer dentro de un rango específico alrededor de su valor final.

Sobreimpulso: La cantidad por la cual la respuesta excede su valor final antes de estabilizarse.

Tiempo de Retardo: El tiempo que tarda la respuesta en comenzar a cambiar significativamente después de la aplicación de la entrada.

Ejemplo:

Considera un sistema de control de temperatura en un horno. Cuando se enciende el horno y se establece una temperatura deseada, la respuesta transitoria es el período durante el cual la temperatura del horno sube desde la temperatura ambiente hasta cerca de la temperatura deseada. Durante este tiempo, se pueden observar

características como el Sobreimpulso (si la temperatura sube demasiado antes de estabilizarse) y

el tiempo de asentamiento (el tiempo que tarda en estabilizarse cerca de la temperatura deseada).

Respuesta En Estado Estable

La respuesta en estado estable es la parte de la respuesta total que permanece después de que la respuesta transitoria ha desaparecido. Esta respuesta se observa cuando el sistema ha alcanzado un equilibrio y se mantiene constante o varía de manera predecible.

Características Clave:

Error en Estado Estable: La diferencia entre el valor deseado y el valor real de la salida cuando el sistema ha alcanzado el equilibrio.

Estabilidad: La capacidad del sistema para mantener su salida dentro de un rango deseado sin oscilar o divergir.

Ejemplo:

Siguiendo con el ejemplo del horno, una vez que la temperatura ha alcanzado y se mantiene en la temperatura deseada, estamos observando la respuesta en estado estable. Si el horno mantiene la temperatura con una pequeña fluctuación alrededor del valor deseado, el error en estado estable

es pequeño y el sistema es considerado estable.

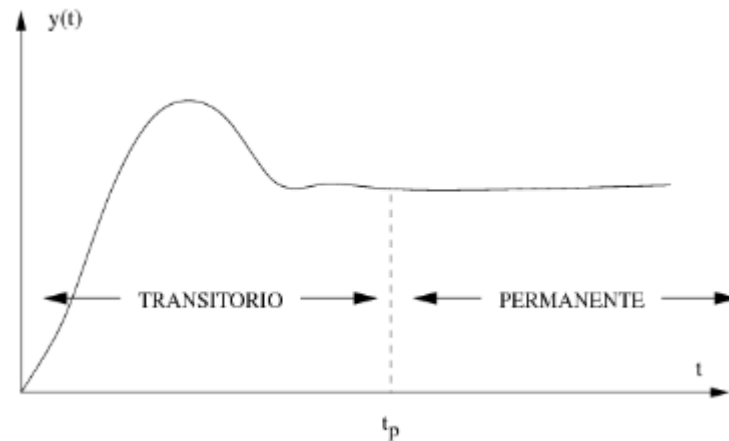


Figura 44 Partes transitoria y estacionaria, o permanente, de la salida de un sistema

2.2. Sistemas de Primer orden.

Un sistema de primer orden es un tipo de sistema dinámico cuya ecuación diferencial más alta es de primer orden. Estos sistemas son fundamentales en el análisis y diseño de sistemas de control debido a su simplicidad y relevancia en diversas aplicaciones.

Características Principales

Ecuación Diferencial:

La forma general de la ecuación diferencial de un sistema de primer orden es:

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Ku(t)$$

donde:

- τ es la constante de tiempo.
- K es la ganancia del sistema.
- $y(t)$ es la salida.

- $u(t)$ es la entrada.

Función de Transferencia:

La función de transferencia de un sistema de primer orden es:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1}$$

donde (s) es la variable de Laplace.

Respuesta al Escalón:

La respuesta de un sistema de primer orden a una entrada escalón unitario es:

$$y(t) = K(1 - e^{-t/\tau})$$

Esta respuesta muestra cómo el sistema se aproxima a su valor final (K) con una constante de tiempo τ .

Constante de Tiempo τ

La constante de tiempo τ indica la rapidez con la que el sistema responde a cambios en la entrada. Un valor pequeño de τ significa una



respuesta rápida, mientras que un valor grande indica una respuesta lenta.

Ejemplos de Aplicación

Circuitos RC: Un circuito resistor-capacitor (RC) es un ejemplo clásico de un sistema de primer orden. La tensión en el capacitor sigue una ecuación diferencial de primer orden.

Sistemas Térmicos: La temperatura de un objeto que se calienta o enfría puede modelarse como un sistema de primer orden.

Sistemas Hidráulicos: El nivel de líquido en un tanque con una entrada y una salida puede describirse mediante una ecuación de primer orden.

2.3. Sistemas de Segundo orden

Un sistema de segundo orden es un tipo de sistema dinámico cuya ecuación diferencial más alta es de segundo orden. Estos sistemas son comunes en ingeniería y física debido a su capacidad para modelar una amplia variedad de fenómenos naturales y artificiales.

Características Principales

Ecuación Diferencial:

La forma general de la ecuación diferencial de un sistema de segundo orden es:

$$y''(t) + 2\zeta\omega_n y'(t) + \omega_n^2 y(t) = \omega_n^2 u(t)$$

Donde:

- $y(t)$ es la salida del sistema (variable dependiente del tiempo).
- $u(t)$ es la entrada o señal de control.
- $y'(t)$ es la primera derivada de $y(t)$ con respecto al tiempo (velocidad).

- $y''(t)$ es la segunda derivada de $y(t)$ con respecto al tiempo (aceleración).
- ω_n es la frecuencia natural del sistema (sin amortiguamiento).
- ζ es el coeficiente de amortiguamiento, que determina el comportamiento del sistema.

Parámetros Claves

Los sistemas de segundo orden se caracterizan principalmente por los siguientes parámetros:

Frecuencia Natural ω_n : Representa la frecuencia con la que el sistema oscilaría si no hubiera amortiguamiento. Es una medida de la rapidez con la que el sistema responde a una perturbación.

Coeficiente de Amortiguamiento ζ : Indica el grado de amortiguamiento del sistema. Afecta directamente la forma en que el sistema responde a cambios o perturbaciones. Dependiendo del valor de ζ , el comportamiento del sistema puede variar significativamente.



Tipos de Respuesta de un Sistema de Segundo Orden

La respuesta de un sistema de segundo orden a una entrada (como un escalón unitario) depende del coeficiente de amortiguamiento ζ

A. Subamortiguado ($\zeta < 1$)

Características:

El sistema oscila antes de estabilizarse en su valor final.

A medida que ζ disminuye, las oscilaciones son más pronunciadas y tardan más tiempo en amortiguarse.

Comportamiento típico: Respuesta oscilatoria, que eventualmente decae debido al amortiguamiento.

Ejemplos:

Circuitos RLC (Resistencia, Inductancia, Capacitancia).

Sistemas mecánicos con resortes y amortiguadores.

B. Amortiguado Críticamente ($\zeta = 1$)

Características:

El sistema no oscila, y alcanza el valor final lo más rápido posible sin sobrepasar dicho valor.

Comportamiento típico: El tiempo de asentamiento es mínimo sin oscilaciones.

Ejemplos:

Sistemas de control donde se desea una respuesta rápida sin oscilaciones (como sistemas de suspensión de automóviles).

C. Sobreamortiguado ($\zeta > 1$)

Características:

El sistema no oscila, pero tarda más tiempo en alcanzar el valor final.

A medida que ζ aumenta, la respuesta se vuelve más lenta.

Comportamiento típico: Respuesta más lenta que la crítica, sin oscilaciones.

Ejemplos:

Sistemas que requieren estabilidad extrema, como algunos sistemas de control de temperatura o presión.

D. Sin Amortiguamiento ($\zeta = 0$)

Características:

El sistema oscila indefinidamente a su frecuencia natural ω_n , sin reducir la amplitud.

Comportamiento típico: Oscilaciones continuas.

Ejemplos:

Sistemas ideales o teóricos, como masas y resortes perfectos sin fricción.

Parámetros de Rendimiento de un Sistema de Segundo Orden

Los sistemas de segundo orden suelen analizarse mediante ciertos parámetros de rendimiento importantes que describen cómo responden a una entrada escalón unitario:

Tiempo de Asentamiento (t_s): Es el tiempo que tarda la respuesta en permanecer dentro de un cierto rango (generalmente el 2% o 5%) de su valor final.

Tiempo de Subida (t_r): Es el tiempo que tarda la respuesta en pasar de



un porcentaje bajo (generalmente del 10%) a un porcentaje alto (90%) de su valor final.

Tiempo Pico (t_p): Es el tiempo en el que la respuesta alcanza su valor máximo por primera vez.

Sobreimpulso (M_p): Es el valor máximo que alcanza la respuesta por encima de su valor final, expresado generalmente como un porcentaje.

Función de Transferencia de un Sistema de Segundo Orden

En el dominio de Laplace, la función de transferencia estándar de un sistema de segundo orden es:

$$H(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

Esta función describe el comportamiento del sistema de segundo orden en términos de sus polos, que son raíces del denominador. La ubicación de estos polos en el plano complejo determina la naturaleza de la respuesta del sistema.

Ejemplos de Sistemas de Segundo Orden

Sistemas Mecánicos: Un ejemplo típico es un sistema masa-resorte-amortiguador. La masa representa la inercia, el resorte proporciona una fuerza restauradora proporcional al desplazamiento, y el amortiguador introduce una fuerza proporcional a la velocidad.

Sistemas Eléctricos: Los circuitos RLC (Resistencia, Inductancia,

Capacitancia) son otro ejemplo de un sistema de segundo orden, donde la resistencia proporciona amortiguamiento, la inductancia almacena energía cinética, y el capacitor almacena energía potencial.

Sistemas de Control de Posición o Velocidad:

Muchos sistemas de control de motores de corriente continua (DC) son sistemas de segundo orden, donde se controla la posición o la velocidad del motor.

Aplicaciones de los Sistemas de Segundo Orden

Los sistemas de segundo orden aparecen en una variedad de aplicaciones industriales:

Sistemas de suspensión de vehículos:

El comportamiento dinámico de la suspensión puede modelarse como un sistema de segundo orden para lograr una conducción cómoda y segura.

Control de motores: La velocidad y la posición de los motores se controlan frecuentemente usando modelos de segundo orden para garantizar precisión y estabilidad en la operación.

Sistemas de vibración: En ingeniería estructural, el análisis de vibraciones mecánicas utiliza sistemas de segundo orden para predecir la respuesta de estructuras ante terremotos o vibraciones inducidas por máquinas.



2.4. Sistemas de Grado Superior

Los sistemas de grado superior son sistemas dinámicos cuya ecuación característica tiene un orden mayor que dos. A medida que el orden del sistema aumenta, la complejidad de su análisis y comportamiento también crece. Estos sistemas son comunes en procesos industriales complejos y en sistemas donde intervienen múltiples elementos dinámicos como masas, resortes, inductancias, capacitancias, etc. A continuación, se recopila información relevante sobre los sistemas de grado superior.

2.4.1 Definición de Sistemas de Grado Superior

Un sistema de grado superior es aquel cuya ecuación diferencial o función de transferencia tiene un orden superior a dos, es decir, la ecuación que describe el sistema involucra derivadas de tercer orden o superior.

Ecuación Diferencial General:

$$a_n \frac{(d^m y(t))}{dt^n} + \frac{a_{n-1}(dt y(t))}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = \frac{b_m d^m u(t)}{dt^m} + \dots + b_0 u(t)$$

Donde:

- $y(t)$ es la salida del sistema.
- $u(t)$ es la entrada o señal de control.
- n es el orden del sistema (generalmente $n > 2$).

- Los coeficientes a_i y a_j determinan las características del sistema.

En términos de función de transferencia, un sistema de grado superior tiene una función de la forma:

$$H(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0}$$

Donde

n (el grado del denominador) determina el orden del sistema.

2.4.2 Comportamiento y Características

El comportamiento de un sistema de grado superior es más complejo que el de los sistemas de orden inferior, y depende de la ubicación de sus polos y ceros en el plano complejo. Estos sistemas pueden tener varias dinámicas simultáneamente, como múltiples oscilaciones, amortiguamientos y retardos.

A. Polos y Zeros:

Los polos son las raíces del denominador de la función de transferencia, y determinan la estabilidad y el comportamiento transitorio del sistema.

Los ceros son las raíces del numerador y afectan la respuesta del sistema, particularmente la velocidad de respuesta y la forma de la señal de salida.

B. Estabilidad:



Para un sistema de grado superior, la estabilidad depende de la ubicación de los polos. Un sistema es estable si todos sus polos tienen partes reales negativas, es decir, si están ubicados en el semiplano izquierdo del plano complejo. Si alguno de los polos está en el semiplano derecho, el sistema es inestable.

C. Modos Propios:

Un sistema de grado superior puede exhibir múltiples modos de respuesta, conocidos como modos propios. Estos modos son asociados a las frecuencias naturales y amortiguamientos de cada parte del sistema, y se combinan para formar la respuesta total del sistema.

D. Acoplamiento de Dinámicas:

En los sistemas de grado superior, diferentes dinámicas internas pueden estar acopladas, lo que significa que las acciones de un subsistema pueden influir sobre otros. Esto genera un comportamiento más complicado que en los sistemas de primer y segundo orden.

2.4.3 Respuestas Típicas de un Sistema de Grado Superior

A diferencia de los sistemas de primer o segundo orden, que tienen respuestas transitorias relativamente simples (como exponenciales o senoides amortiguadas), los sistemas de grado superior pueden tener respuestas más complejas que incluyen combinaciones de múltiples exponenciales y oscilaciones. Estas respuestas pueden ser:

- **Oscilatorias:** Si el sistema tiene polos complejos conjugados.

- **Sobreamortiguadas:** Si el sistema tiene muchos polos reales.
- **Amortiguamiento Crítico:** En casos específicos donde los polos están en posiciones que generan un equilibrio justo entre oscilación y amortiguamiento.

2.4.4 Modelado y Simulación

El análisis de los sistemas de grado superior se realiza frecuentemente mediante el uso de herramientas computacionales, ya que su análisis manual puede ser complicado. Algunos enfoques comunes incluyen:

Simulación Numérica: Se utiliza software como MATLAB o Simulink para simular el comportamiento del sistema. Estas herramientas permiten obtener respuestas en el tiempo y frecuencias de sistemas complejos, lo que facilita el estudio de sistemas de grado superior.

Reducción de Modelos: A veces se emplea la reducción de orden para aproximar un sistema de grado superior por un sistema de orden inferior, sin perder demasiada precisión. Esto simplifica el análisis y diseño de controladores.

2.4.5 Ejemplos de Sistemas de Grado Superior

Los sistemas de grado superior son comunes en muchos entornos industriales y aplicaciones tecnológicas:

Sistemas Eléctricos Complejos: Los circuitos que contienen varios componentes inductivos, capacitivos y resistivos en serie y



paralelo suelen tener un comportamiento de grado superior.

Sistemas Mecánicos Multimasa: Los sistemas mecánicos que consisten en varias masas, resortes y amortiguadores interconectados son modelos típicos de grado superior.

Sistemas Aeroespaciales: Los aviones y satélites se modelan a menudo como sistemas de grado superior debido a la complejidad de sus dinámicas internas.

Procesos Industriales Complejos: Procesos de refinación de petróleo, reactores químicos y sistemas de control de energía a menudo se modelan como sistemas de alto orden debido a la cantidad de variables y la interdependencia de las dinámicas.

2.4.6 Métodos de Control para Sistemas de Grado Superior

Los sistemas de grado superior suelen requerir métodos avanzados de control, ya que los controladores simples como el PID pueden no ser suficientes. Algunos de los métodos más utilizados son:

A. Controlador PID Multivariable:

El control PID para sistemas de grado superior puede adaptarse para manejar múltiples variables al mismo tiempo. Esto permite una mejor respuesta en sistemas que presentan múltiples dinámicas.

B. Control por Descomposición Modal:

En algunos casos, el sistema puede descomponerse en modos individuales (cada uno asociado a un polo o conjunto de polos). Esto

permite diseñar controladores independientes para cada modo, que luego se combinan para controlar el sistema completo.

C. Control Óptimo:

El control óptimo es un método avanzado que minimiza un costo determinado (como el error o el tiempo de asentamiento) y es comúnmente aplicado en sistemas de grado superior, particularmente en sistemas de gran escala.

D. Control Predictivo (MPC):

El control predictivo utiliza un modelo del sistema para predecir su comportamiento futuro y ajustar las acciones de control en consecuencia. Esto es útil para sistemas de grado superior debido a la complejidad de sus dinámicas.

2.4.7 Aplicaciones de Sistemas de Grado Superior

Automatización Industrial: En líneas de producción, donde varias máquinas están interconectadas, los sistemas de control de grado superior son comunes para mantener la sincronización y la eficiencia.

Ingeniería Civil: En estructuras grandes y puentes, los sistemas de control de vibración pueden ser modelados como sistemas de grado superior para analizar el comportamiento frente a terremotos.

Robótica: Los sistemas robóticos avanzados, como robots de múltiples articulaciones o manipuladores, son sistemas de grado superior debido a la cantidad



de elementos móviles que interactúan entre sí.

2.5. Criterio de Estabilidad

El criterio de estabilidad es fundamental en el análisis y diseño de sistemas de control, ya que permite determinar si un sistema es estable o inestable sin necesidad de resolver la ecuación característica. Aquí te presento algunos de los criterios de estabilidad más utilizados:

2.5.1 Criterio de Routh-Hurwitz

El criterio de Routh-Hurwitz es una prueba matemática que determina si todas las raíces del polinomio característico de un sistema tienen partes reales negativas, lo cual es necesario y suficiente para la estabilidad de un sistema lineal invariante en el tiempo (LTI).

Pasos para aplicar el criterio de Routh-Hurwitz:

1. Formar la tabla de Routh a partir de los coeficientes del polinomio característico.
2. Evaluar los elementos de la primera columna de la tabla.
3. El sistema es estable si y solo si todos los elementos de la primera columna son positivos.

Ejemplo: Para un polinomio característico de tercer orden:

$$a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0 = 0$$

La tabla de Routh se construye de la siguiente manera:

2.5.2 Criterio de Nyquist

El criterio de Nyquist se utiliza para determinar la estabilidad de

sistemas de control en el dominio de la frecuencia. Este criterio se basa en el análisis del diagrama de Nyquist, que es una representación gráfica de la función de transferencia del sistema.

Pasos para aplicar el criterio de Nyquist:

1. Dibujar el diagrama de Nyquist de la función de transferencia en lazo abierto.
2. Contar el número de incrementos alrededor del punto crítico $(-1,0)$.
3. Aplicar el criterio de Nyquist para determinar la estabilidad en función del número de polos de lazo abierto en el semiplano derecho.

2.5.3 Criterio de Bode

El criterio de Bode también se utiliza en el dominio de la frecuencia y se basa en los diagramas de magnitud y fase de la función de transferencia del sistema.

Pasos para aplicar el criterio de Bode:

1. Dibujar los diagramas de Bode de magnitud y fase.
2. Evaluar el margen de ganancia y el margen de fase.
3. Un sistema es estable si el margen de ganancia es positivo y el margen de fase es mayor que 0 grados.



Cuestionario Capítulo 2

1. ¿Qué característica describe un sistema de segundo orden?

- a) Su ecuación diferencial es de primer grado.
- b) Tiene una frecuencia natural y un coeficiente de amortiguamiento.
- c) Siempre es estable, sin importar los valores de sus parámetros.
- d) No presenta oscilaciones en su respuesta.

2. Dado un sistema de segundo orden con la siguiente función de transferencia:

$$H(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

Donde ω_n es la frecuencia natural y ζ es el factor de amortiguamiento, ¿qué valor de ζ representa un sistema críticamente amortiguado?

- a) $\zeta=0$
- b) $\zeta=0.5$
- c) $\zeta=1$
- d) $\zeta>1$

3. ¿Qué ocurre en un sistema subamortiguado ($\zeta<1$)?

- a) La respuesta alcanza el valor final sin oscilaciones.
- b) La respuesta oscila y eventualmente se estabiliza.
- c) El sistema no tiene una respuesta definida.

d) El sistema oscila indefinidamente.

4. ¿Cuál es la característica principal de un sistema de grado superior?

- a) Su ecuación diferencial tiene un orden mayor a dos.
- b) Siempre es inestable.
- c) Tiene solo un polo en el plano complejo.
- d) Solo puede modelar sistemas mecánicos.

5. ¿Cómo se relaciona la estabilidad de un sistema con la ubicación de sus polos?

- a) El sistema es estable si todos los polos están en el semiplano izquierdo.
- b) El sistema es inestable si los polos están en el semiplano izquierdo.
- c) La ubicación de los polos no afecta la estabilidad.
- d) El sistema es estable si tiene polos en el semiplano derecho.

6. ¿Qué método es común para analizar y simular sistemas de grado superior?

- a) Solución manual de ecuaciones diferenciales.
- b) Simulación numérica con herramientas como MATLAB o Simulink.
- c) Reducción de la ecuación diferencial a primer orden.
- d) Resolución algebraica básica.



7. ¿Qué tipo de respuesta es más probable en un sistema de grado superior?

- a) Una simple exponencial decreciente.
- b) Una combinación de múltiples oscilaciones y amortiguamientos.
- c) Una respuesta completamente subamortiguada.
- d) Una respuesta que no varía en el tiempo.

8. ¿Cuál de las siguientes técnicas de control es más adecuada para sistemas de grado superior?

- a) Control PID básico.
- b) Control por descomposición modal.
- c) Control sin realimentación.
- d) Solo el control manual.

9. ¿Qué es la descomposición modal en sistemas de grado superior?

- a) Un método para convertir el sistema en un modelo de primer orden.
- b) La separación del sistema en modos individuales asociados a polos específicos.
- c) Un método para eliminar los polos complejos.
- d) Un enfoque que ignora las dinámicas de los subsistemas.

10. ¿Qué tipo de sistemas suelen ser modelos de grado superior?

- a) Sistemas que contienen únicamente una masa y un resorte.
- b) Sistemas simples de primer orden como circuitos RC.
- c) Sistemas mecánicos multimasa y procesos industriales complejos.
- d) Sistemas sin componentes dinámicos.



03

REDUCCIÓN DE SISTEMAS



3.1 Reducción de sistemas: Introducción a la representación de sistemas

La reducción de sistemas es una técnica fundamental en el análisis y diseño de sistemas de control, que permite simplificar modelos complejos a fin de facilitar su estudio y manipulación. La representación de sistemas puede realizarse mediante diversos enfoques matemáticos, como las ecuaciones diferenciales, las funciones de transferencia, los modelos en espacio de estados, entre otros. Estos modelos describen el comportamiento dinámico de un sistema y permiten analizar su estabilidad, respuesta en el tiempo, y diseñar controladores.

Representación de Sistemas

Los sistemas dinámicos se pueden representar de distintas formas, dependiendo del tipo de análisis que se quiera realizar. Las formas más comunes incluyen:

Ecuaciones diferenciales: Se utilizan para describir las relaciones dinámicas entre las entradas y las salidas del sistema. La ecuación diferencial relaciona las derivadas de la salida con las entradas y otros parámetros del sistema.

Funciones de transferencia: La función de transferencia es una representación en el dominio de la frecuencia que relaciona la salida con la entrada de un sistema lineal e invariante en el tiempo (LTI). Esta representación se obtiene a partir de la transformada de Laplace de las ecuaciones diferenciales del sistema y tiene la ventaja de que

simplifica el análisis de sistemas lineales, especialmente en términos de estabilidad y respuesta en frecuencia.

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

Donde

$H(s)$ es la función de transferencia,

$Y(s)$ es la salida en el dominio de Laplace, y

$U(s)$ es la entrada.

Espacio de estados: Es una representación que describe el sistema en términos de un conjunto de ecuaciones diferenciales de primer orden. Esta representación es especialmente útil para sistemas multivariables, donde varias variables de estado interactúan simultáneamente.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

Donde:

- $x(t)$ es el vector de estados.
- $u(t)$ es la entrada.
- $y(t)$ es la salida.
- A , B , C , y D son matrices que definen el sistema.

Reducción de Sistemas

La reducción de sistemas es una técnica utilizada para simplificar modelos de sistemas de alto orden



sin perder la precisión esencial del comportamiento dinámico del sistema. Esto es particularmente útil cuando se tienen sistemas complejos que no son fáciles de manejar o analizar directamente. Existen varios métodos para lograr la reducción de un sistema, entre los cuales destacan:

A. Eliminación de modos rápidos o insignificantes

En sistemas de alto orden, algunos de los modos (o polos) tienen una dinámica mucho más rápida que los demás, lo que significa que se estabilizan rápidamente y tienen un impacto limitado en el comportamiento a largo plazo del sistema. Estos modos pueden ser aproximados o eliminados para simplificar el sistema sin sacrificar la precisión en las dinámicas principales.

B. Truncamiento de orden

Este método consiste en reducir el orden de la función de transferencia o el modelo en espacio de estados al ignorar los términos de menor importancia o contribución al comportamiento global del sistema. El truncamiento se realiza manteniendo los polos más importantes y eliminando los polos que tengan una influencia mínima en la respuesta total.

C. Aproximación de Padé

Este método se utiliza para aproximar sistemas con retardos temporales mediante una fracción racional que permita eliminar la naturaleza no racional del retardo. Es útil en el análisis de sistemas con retardos en el tiempo, que pueden

complicar la representación y el control de estos sistemas.

D. Reducción de orden mediante modelos balanceados

Este enfoque utiliza la de composición singular de un sistema para identificar los modos dominantes y reducir el modelo de manera que mantenga las características más importantes del sistema, mientras que elimina las menos relevantes.

Ejemplos de Aplicaciones de la Reducción de Sistemas

La reducción de sistemas se utiliza en muchas áreas de la ingeniería, como la automatización industrial, la robótica, y la aeronáutica. Algunos ejemplos son:

- Control de sistemas de gran escala: En redes de distribución de energía o en sistemas de control de aeronaves, donde los modelos detallados de cada componente pueden llevar a un sistema global de orden muy alto, la reducción simplifica el diseño de controladores y el análisis del sistema.
- Sistemas mecánicos complejos: En un sistema de varias masas y resortes, o en robots con muchas articulaciones, la dinámica de algunas masas o articulaciones puede ser más rápida que otras, y por tanto, pueden ser eliminadas o aproximadas.
- Sistemas eléctricos: Los sistemas con múltiples



componentes inductivos y capacitivos a menudo pueden tener orden superior, pero la reducción de orden permite obtener un modelo más sencillo sin perder precisión.

Ventajas y Desventajas de la Reducción de Sistemas

Ventajas:

- Simplicidad en el análisis: Los modelos reducidos son más fáciles de manejar tanto analítica como computacionalmente.
- Diseño de controladores: Permite diseñar controladores más simples y eficientes.

- Reducción del costo computacional: En simulaciones y análisis, un modelo de menor orden requiere menos recursos computacionales.

Desventajas:

- Pérdida de precisión: Al eliminar modos o reducir el orden, se pierde parte de la precisión del sistema original.
- Limitaciones en la aplicabilidad: No todos los sistemas son fácilmente reducibles sin afectar de manera significativa su comportamiento.

3.2 Sistemas SISO y MIMO

En el campo del control de sistemas y telecomunicaciones, los términos SISO (Single Input Single Output) y MIMO (Múltiple Input Múltiple Output) son fundamentales para describir la interacción entre las señales de entrada y salida de un sistema. La diferencia clave entre estos sistemas radica en el número de entradas y salidas que manejan, lo que afecta directamente la complejidad de su análisis y control.

2.5.1 Sistemas SISO (Single Input, Single Output)

Un sistema SISO es un sistema que tiene una sola entrada y una sola salida. Este tipo de sistema es el más sencillo de modelar y analizar, ya que la relación entre la entrada y la salida se describe mediante una única ecuación diferencial o función de transferencia.

Características de los Sistemas SISO:

- Entrada única, salida única: El sistema tiene una única señal de entrada y una única señal de salida.
- Simplicidad de modelado: Los sistemas SISO pueden ser descritos de manera simple utilizando funciones de transferencia o modelos de espacio de estados.
- Análisis más directo: Los análisis de estabilidad, controlabilidad y observabilidad son más sencillos en sistemas SISO en comparación con sistemas más complejos.

Ejemplo de un sistema SISO:



Un circuito RLC simple es un ejemplo de un sistema SISO, donde la entrada podría ser un voltaje aplicado al circuito y la salida podría ser la corriente medida.

Función de Transferencia SISO:

La relación entre la entrada $U(s)$ y la salida $Y(s)$ de un sistema SISO en el dominio de Laplace está dada por:

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

Aquí, $H(s)$ es la función de transferencia, que describe cómo el sistema transforma una señal de entrada en una señal de salida.

Sistemas MIMO (Múltiple Input, Múltiple Output)

En contraste, un sistema MIMO es un sistema que tiene múltiples entradas y múltiples salidas. Estos sistemas son más complejos de modelar, ya que la interacción entre cada entrada y cada salida debe ser considerada. Los sistemas MIMO son comunes en aplicaciones donde varios actuadores o sensores están involucrados en un proceso o sistema.

Características de los Sistemas MIMO:

- **Entradas y salidas múltiples:** Un sistema MIMO puede tener varias entradas y varias salidas. Esto significa que cada entrada puede afectar a más de una salida, y viceversa.
- **Interacción entre variables:** En los sistemas MIMO, las interacciones entre las diferentes variables de

entrada y salida deben ser cuidadosamente modeladas y controladas.

- **Mayor complejidad:** El análisis y el diseño de controladores para sistemas MIMO son considerablemente más complejos que para sistemas SISO. Se requieren técnicas avanzadas para abordar problemas como el desacoplamiento de variables, estabilidad y robustez.

Ejemplo de un sistema MIMO:

Un ejemplo clásico de un sistema MIMO es un sistema robótico con múltiples articulaciones, donde cada actuador (entrada) afecta el movimiento de varias partes del robot (salidas).

Representación MIMO en espacio de estados:

Un sistema MIMO puede representarse en espacio de estados de la siguiente manera:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t)$$

Donde:

- $\mathbf{u}(t)$ es un vector de entradas múltiples.
- $\mathbf{y}(t)$ es un vector de salidas múltiples.
- $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$, $\mathbf{C}$ y $\mathbf{D}$ son matrices que definen la dinámica del sistema.

Matriz de funciones de transferencia:

En lugar de una única función de transferencia como en el caso SISO, los sistemas MIMO se representan



mediante una matriz de funciones de transferencia:

$$H(s) = \begin{pmatrix} H_{11}(s) & \cdots & H_{1n}(s) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{m1}(s) & \cdots & H_{mn}(s) \end{pmatrix}$$

Cada elemento $H_{ij}(s)$ en la matriz de funciones de transferencia representa la relación entre la entrada u_j y la salida

y_i

Comparación entre Sistemas SISO y MIMO

Característica	SISO	MIMO
Entradas/Salidas	Una entrada, una salida	Múltiples entradas, múltiples salidas
Complejidad	Baja complejidad, análisis simple	Alta complejidad, interacción entre variables
Representación	Función de transferencia única	Matriz de funciones de transferencia
Control	Diseño de controladores sencillo (PID, LQR)	Técnicas avanzadas de control (control multivariable, LQR multivariable, MPC)
Ejemplos	Circuito RC, sistemas mecánicos simples	Robots, aeronaves, sistemas de comunicaciones

Métodos de Control para Sistemas MIMO

Los sistemas MIMO requieren técnicas avanzadas de control debido a la interacción entre las múltiples entradas y salidas. Algunos métodos de control típicos para sistemas MIMO son:

- **Control por Desacoplamiento:** En muchos casos, es posible diseñar un controlador que desacople las entradas y salidas, de modo que cada entrada afecte a una única salida, convirtiendo efectivamente un sistema MIMO en varios sistemas SISO. Esto simplifica enormemente el diseño del controlador.
- **Control Predictivo (MPC):** El control predictivo es una técnica popular para sistemas MIMO, ya que utiliza un modelo del sistema para predecir su comportamiento futuro y ajustar las entradas en consecuencia. El control predictivo es particularmente útil para sistemas con interacciones complejas entre las entradas y salidas.
- **Control LQR (Linear Quadratic Regulator):** El LQR es una técnica de control óptimo que se utiliza para minimizar una función de costo, y es muy útil en sistemas MIMO donde se quiere optimizar el



desempeño general del sistema.

Aplicaciones de Sistemas MIMO

Los sistemas MIMO tienen aplicaciones en muchas áreas de la ingeniería debido a su capacidad para manejar múltiples variables simultáneamente. Algunas de estas aplicaciones incluyen:

- **Telecomunicaciones:** Los sistemas MIMO son clave en la transmisión de datos inalámbrica, especialmente en tecnologías como Wi-Fi y 5G, donde se utilizan múltiples antenas para enviar y recibir señales, aumentando la capacidad y fiabilidad de la transmisión.
- **Robótica:** En la robótica, los sistemas MIMO son esenciales para controlar manipuladores con múltiples grados de libertad, donde cada actuador (entrada) afecta el movimiento de diferentes partes del robot (salidas).
- **Automatización Industrial:** En la automatización de procesos industriales complejos, los sistemas MIMO se utilizan para controlar múltiples variables de proceso, como temperatura, presión y flujo en sistemas de control de plantas químicas o refinerías.

3.3 Reducción de diagramas de flujo de señales (método de Mason).

El método de Mason, también conocido como la fórmula de ganancia de Mason, es una técnica utilizada en la teoría de control para encontrar la función de transferencia de un sistema a partir de su diagrama de flujo de señales. Este método es especialmente útil para sistemas complejos donde los métodos convencionales de reducción de diagramas de bloques pueden ser complicados.

Fórmula de Mason

La fórmula de Mason se expresa de la siguiente manera:

$$T = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \Delta_k}{\Delta}$$

Donde:

- (T) es la función de transferencia del sistema.
- $(Y(s))$ es la salida del sistema.
- $(X(s))$ es la entrada del sistema.
- (P_k) es la ganancia de la (k) -ésima trayectoria directa desde la entrada hasta la salida.
- (Δ) es el determinante del sistema, calculado como la suma de todas las ganancias de los ciclos de retroalimentación individuales.
- (Δ_k) es el determinante del sistema cuando se eliminan



los ciclos de retroalimentación que no

tocan la (k)-ésima trayectoria directa.

3.4 Álgebra de bloques.

El álgebra de bloques es una técnica utilizada en la teoría de control para simplificar y analizar sistemas complejos mediante la representación de sus componentes y sus interacciones en forma de diagramas de bloques. Estos diagramas permiten visualizar cómo las señales se transforman y combinan a través del sistema.

Elementos de un Diagrama de Bloques

1. **Bloques:** Representan componentes del sistema con una función de transferencia específica.
2. **Señales:** Flechas que indican el flujo de información entre los bloques.
3. **Sumadores:** Puntos donde se combinan señales mediante suma o resta.

4. **Bifurcaciones:** Puntos donde una señal se divide para alimentar a varios bloques.

Operaciones Básicas

Series: Cuando dos bloques están en serie, sus funciones de transferencia se multiplican.

$$G(s) = G_1(s) \cdot G_2(s)$$

1. **Paralelo:** Cuando dos bloques están en paralelo, sus funciones de transferencia se suman.

$$G(s) = G_1(s) + G_2(s)$$

Realimentación: Para un sistema con realimentación negativa, la función de transferencia es:

$$G(s) = \frac{G_1(s)}{1 + G_1(s) \cdot H(s)}$$

Reglas de álgebra de bloques

Regla	Diagramas de bloques original	Diagramas de bloques equivalente
1		
2		



3		
4		
5		
6		
7		
8		



Ejemplo

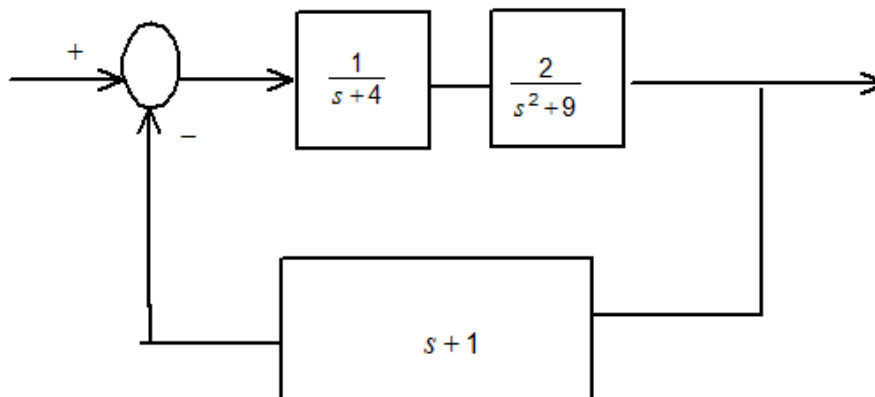
Consideremos un sistema con dos bloques en serie y una realimentación negativa:

- Bloque 1: $G_1(s) = \frac{1}{s+1}$
- Bloque 2: $G_2(s) = \frac{1}{s+2}$
- Función de realimentación: $H(s) = \frac{1}{s+3}$

La función de transferencia total del sistema es:

$$G(s) = \frac{G_1(s) \cdot G_2(s)}{1 + G_1(s) \cdot G_2(s) \cdot H(s)} = \frac{\left(\frac{1}{s+1}\right) \cdot \left(\frac{1}{s+2}\right)}{1 + \left(\frac{1}{s+1}\right) \cdot \left(\frac{1}{s+2}\right) \cdot \left(\frac{1}{s+3}\right)}$$

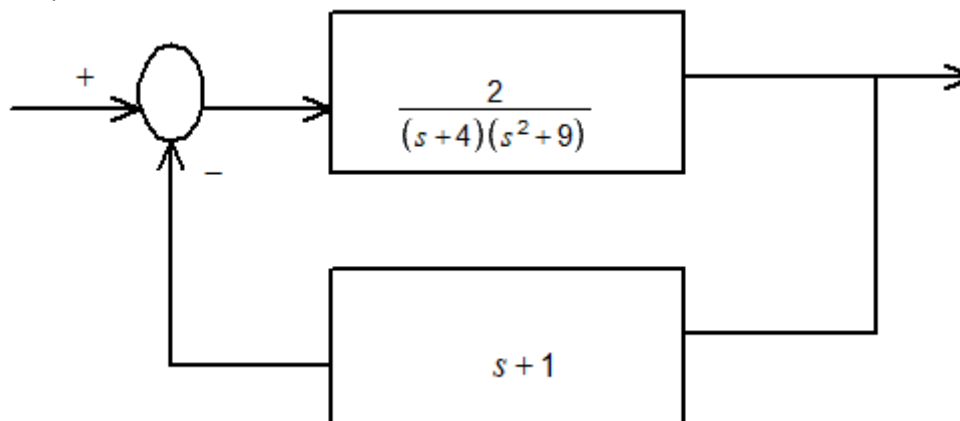
Ejercicio: Use algebra de bloques para reducir en un solo bloque (función de transferencia de lazo cerrado $T(s)$) el diagrama de la siguiente figura.



Aplicar la regla 2

$$\frac{1}{s+4} \cdot \frac{2}{s^2+9} = \frac{2}{(s+4)(s^2+9)}$$

Simplificando ese obtiene



Aplicar regla 8



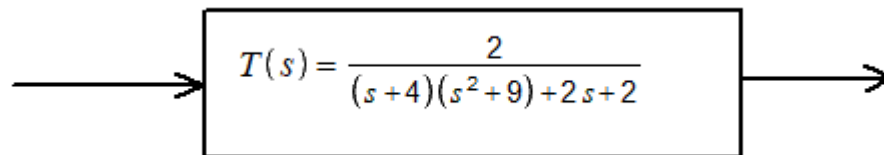
$$T(s) = \frac{\frac{2}{(s+4)(s^2+9)}}{1 + \frac{2}{(s+4)(s^2+9)} \cdot (s+1)}$$

$$T(s) = \frac{\frac{2}{(s+4)(s^2+9)}}{1 + \frac{2s+2}{(s+4)(s^2+9)}}$$

$$T(s) = \frac{\frac{2}{(s+4)(s^2+9)}}{\frac{(s+4)(s^2+9) + 2s+2}{(s+4)(s^2+9)}}$$

$$T(s) = \frac{2}{(s+4)(s^2+9) + 2s+2}$$

La reducción en solo bloque sería



3.5 Relación entre funciones de transferencia

La función de transferencia de un sistema de lazo cerrado describe cómo la salida del sistema responde a una entrada, considerando la retroalimentación. Para un sistema de control típico, la función de transferencia de lazo cerrado ($T(s)$) se puede expresar en términos de las funciones de transferencia de la planta ($G(s)$) y del controlador ($H(s)$).

Fórmula General

La función de transferencia de lazo cerrado se define como:

$$T(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

Donde:

- $G(s)$ es la función de transferencia de la planta (o sistema a controlar).
- $H(s)$ es la función de transferencia del controlador (o del elemento de retroalimentación).

Ejemplo de Aplicación

Consideremos un sistema donde

$$G(s) = \frac{K_a}{Js^2} \text{ y } H(s) = K_\theta.$$

Sustituyendo estos valores en la fórmula general, obtenemos:

$$T(s) = \frac{\frac{K_a}{Js^2}}{1 + \left(\frac{K_a}{Js^2}\right)K_\theta} = \frac{K_a}{Js^2 + K_a K_\theta}$$



Cuestionario Capítulo 3

1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones describe un sistema SISO (Single Input, Single Output)?

- a) Un sistema con múltiples entradas y múltiples salidas.
- b) Un sistema con una única entrada y múltiples salidas.
- c) Un sistema con una única entrada y una única salida.
- d) Un sistema con múltiples entradas y una única salida.

2. En un sistema MIMO (Multiple Input, Multiple Output), ¿cuál es una característica clave?

- a) Tiene una sola entrada y una sola salida.
- b) Utiliza una única ecuación de función de transferencia.
- c) Las entradas y salidas están acopladas, lo que significa que una entrada puede afectar a más de una salida.
- d) Todas las entradas afectan solo a una salida específica.

3. ¿Cuál es la ventaja principal de los sistemas MIMO en comparación con los sistemas SISO?

- a) Mayor simplicidad en el análisis y diseño de controladores.

- b) Mayor capacidad para manejar procesos complejos con múltiples variables.
- c) Mejor rendimiento en condiciones de entrada fija.
- d) Menor necesidad de retroalimentación y control.

4. En un diagrama de bloques, ¿qué representa un bloque con una función de transferencia $G(s)G(s)G(s)$?

- a) La relación entre la señal de salida y la perturbación.
- b) Un controlador automático.
- c) La relación entre la señal de entrada y la salida del sistema en el dominio de Laplace.
- d) Un amplificador en el sistema de control.

5. ¿Cómo se combinan dos bloques en serie en álgebra de bloques?

- a) Se suman las funciones de transferencia de los bloques.
- b) Se multiplican las funciones de transferencia de los bloques.
- c) Se restan las funciones de transferencia.
- d) Se dividen las funciones de transferencia.



6. ¿Cómo se combinan dos bloques en paralelo en álgebra de bloques?

- a) Se multiplican las funciones de transferencia.
- b) Se suman las funciones de transferencia.
- c) Se dividen las funciones de transferencia.
- d) Se restan las funciones de transferencia.

7. ¿Qué relación existe entre las funciones de transferencia de un sistema de control y las ecuaciones diferenciales?

- a) La función de transferencia describe el comportamiento del sistema en el dominio del tiempo.
- b) La función de transferencia es la transformada de Laplace de la ecuación diferencial que modela el sistema.
- c) Las ecuaciones diferenciales solo se usan en sistemas SISO.
- d) No existe relación entre las funciones de transferencia y las ecuaciones diferenciales.

8. ¿Qué significa si un sistema MIMO está acoplado?

- a) Cada entrada afecta solo a una salida específica.

- b) Cada salida depende de una única entrada.
- c) Una entrada puede influir en múltiples salidas simultáneamente.
- d) No existe interacción entre las entradas y salidas.

9. ¿Cuál es el principal desafío en el control de sistemas MIMO en comparación con sistemas SISO?

- a) Es más sencillo diseñar controladores para sistemas MIMO.
- b) Los sistemas MIMO no requieren retroalimentación.
- c) Las interacciones entre las entradas y salidas complican el diseño de controladores.
- d) Los sistemas MIMO siempre son más estables que los SISO.

10. En un sistema de bloques con realimentación negativa, ¿qué ocurre con la señal de error si la retroalimentación es alta?

- a) La señal de error aumenta.
- b) La señal de error disminuye.
- c) La señal de error no cambia.
- d) El sistema se vuelve inestable.



04

SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO



4. Sistemas de control en lazo cerrado

En un sistema de control de lazo cerrado, la salida del sistema se mide continuamente y se compara con el valor de referencia. La diferencia entre estos dos valores, conocida como señal de error, se utiliza para ajustar la entrada del sistema de manera que la salida se mantenga en el valor deseado. Este tipo de sistema es más preciso y robusto que los sistemas de lazo abierto, ya que puede corregir cualquier desviación de la salida deseada en tiempo real.

Importancia en el Análisis de Sistemas

Esta relación es crucial porque permite analizar la estabilidad y el rendimiento del sistema de control. La función de transferencia de lazo cerrado proporciona información sobre cómo el sistema responde a diferentes tipos de entradas y cómo se comporta ante perturbaciones.

4.1 Control ON-OFF

El controlador ON-OFF compara la variable de proceso con un valor de referencia o setpoint. Si la variable de proceso está por encima del setpoint, el controlador apaga el actuador (OFF). Si la variable de proceso está por debajo del setpoint, el controlador enciende el actuador (ON). Este tipo de control no tiene estados intermedios, lo que puede llevar a oscilaciones alrededor del setpoint¹.

Componentes Principales:

- **Sensor:** Mide la salida del sistema.
- **Controlador:** Compara la salida medida con el valor de referencia y calcula la señal de error.
- **Actuador:** Recibe la señal de control del controlador y ajusta la entrada del sistema para corregir la salida.

Ejemplo:

Un ejemplo común de un sistema de control de lazo cerrado es el termostato de un hogar. El termostato mide la temperatura actual (sensor), la compara con la temperatura deseada (controlador) y ajusta la calefacción o el aire acondicionado (actuador) para mantener la temperatura deseada.

4.1.1 Aplicaciones Comunes

El control ON-OFF es adecuado para sistemas donde la precisión no es crítica y donde las oscilaciones alrededor del setpoint son aceptables. Algunos ejemplos incluyen:

Termostatos en sistemas de calefacción y refrigeración: El termostato enciende o apaga el sistema de calefacción o refrigeración para mantener la temperatura dentro de un rango deseado.



Control de nivel en tanques: Se utiliza para evitar que un tanque se desborde o se vacíe completamente, manteniendo el nivel de líquido dentro de un rango específico².

4.1.2 Ventajas y Desventajas

Ventajas:

- Simplicidad: Fácil de implementar y entender.
- Costo: Generalmente más económico que otros tipos de controladores.

Desventajas:

- Oscilaciones: La variable de proceso puede oscilar alrededor del setpoint, lo que puede no ser adecuado para aplicaciones que requieren alta precisión.
- Desgaste: El constante encendido y apagado puede causar desgaste prematuro en los componentes mecánicos.

4.2 Control P

El control proporcional (P) es un tipo de sistema de control de retroalimentación lineal que ajusta la salida del dispositivo de control en función del error, que es la diferencia entre el valor deseado (setpoint) y el valor medido (variable de proceso). Aquí tienes algunos puntos clave sobre el control proporcional:

Definición y Funcionamiento:

El controlador proporcional ajusta la salida de manera proporcional al error. La fórmula básica es: $m = K_p \cdot e(t) + b$

Donde:

- m : es la salida del controlador.
- K_p : es la ganancia proporcional.
- e : es el error (diferencia entre el setpoint y la variable de proceso).
- b : es el sesgo o bias¹.

Ventajas:

- Simplicidad en el diseño y la implementación.
- Respuesta rápida a cambios en el error.
- Adecuado para sistemas donde la precisión absoluta no es crítica¹.

Desventajas:

- Puede haber un error de estado estacionario, es decir, el sistema puede no alcanzar exactamente el setpoint.
- No es adecuado para sistemas con alta inercia o retardos significativos¹.

Aplicaciones:

- Control de nivel en tanques.
- Control de temperatura en intercambiadores de calor.
- Control de velocidad en motores¹.



4.3 Control PI

El control Proporcional-Integral (PI) es una técnica de control utilizada en sistemas de retroalimentación para mantener una variable de proceso en un valor deseado. Este tipo de control combina dos acciones: la proporcional (P) y la integral (I). La acción proporcional responde al error actual, mientras que la acción integral responde a la suma acumulada de errores pasados, lo que ayuda a eliminar el error en estado estacionario.

Información sobre el Control Proporcional-Integral (PI)

Control Proporcional (P): La acción proporcional produce una salida que es proporcional al error actual. Esto significa que cuanto mayor sea el error, mayor será la corrección aplicada.

Control Integral (I): La acción integral se basa en la acumulación de errores pasados. Su objetivo es eliminar el error en estado estacionario acumulando el error a lo largo del tiempo y aplicando una corrección basada en esta acumulación.

Ecuación del Control Proporcional (P):

$$u(t) = K_p \cdot e(t)$$

Donde:

$u(t)$ es la señal de control.

K_p es la ganancia proporcional.

$e(t)$ es el error en el tiempo (t).

Ecuación del Control Integral (I):

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

1. Donde:

K_i es la ganancia integral.

$e(\tau)d\tau$ es la integral del error desde el tiempo 0 hasta (t).

2. Ecuación del Control Proporcional Integral (PI)

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Ejercicios

1. **Ejercicio 1:** Diseña un controlador PI para un sistema cuya función de transferencia es:

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$$

Determina los valores de K_p y K_i para que el sistema tenga un tiempo de establecimiento de 2 segundos y un sobre impulso menor al 5%.



4.4 Control PD

El control PD es un tipo de controlador utilizado en sistemas de control para mejorar la estabilidad y la respuesta del sistema. Combina la acción proporcional y la acción derivativa para corregir el error entre la salida deseada y la salida real del sistema.

Ecuaciones del Control PD

La ecuación general del controlador PD es:

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

- $u(t)$ es la señal de control.
- K_p es la ganancia proporcional.
- K_d es la ganancia derivativa.
- $e(t)$ es el error, definido como la diferencia entre la referencia $r(t)$ y la salida $y(t)$: $e(t) = r(t) - y(t)$

Ejemplo de Ejercicio Resuelto
Problema:

Supongamos que tenemos un sistema con una referencia $r(t) = 10$ y una salida actual $y(t) = 7$. Las ganancias del controlador son $K_p = 2$ y $K_d = 1$. Calcula la señal de control $u(t)$ si el error cambia a una tasa de $\frac{de(t)}{dt} = 3$

Solución:

1. Calculamos el error:

$$e(t) = r(t) - y(t) = 10 - 7 = 3$$

2. Aplicamos la ecuación del controlador PD:

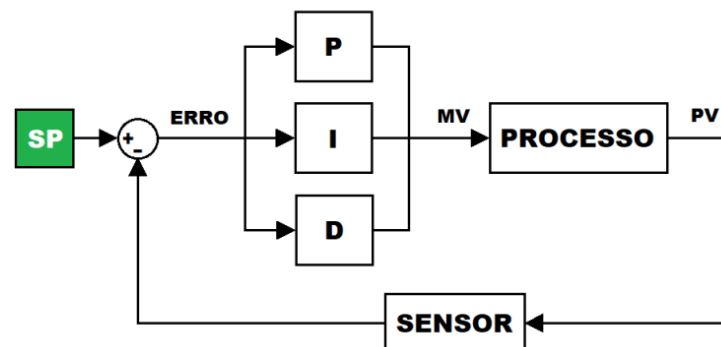
$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Sustituyendo los valores:

$$u(t) = 2 \cdot 3 + 1 \cdot 3 = 6 + 3 = 9$$

Por lo tanto, la señal de control $u(t) = 9$.

4.5 Control PID





El control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) es un tipo de controlador utilizado en sistemas de control de procesos. Este controlador intenta corregir el error entre una variable de proceso medida y el punto de ajuste deseado calculando la diferencia y luego realizando una acción correctiva para ajustar el proceso en consecuencia.

Ecuaciones del Control PID

El controlador PID se describe mediante la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

- $u(t)$ es la señal de control.
- $e(t)$ es el error (diferencia entre el punto de ajuste y la variable medida).
- K_p es la ganancia proporcional.
- K_i es la ganancia integral.
- K_d es la ganancia derivativa.

Ejercicio

Problema: Diseñar un controlador PID para un sistema cuya función de transferencia es:

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$$

Solución:

1. Determinar los parámetros del controlador PID:

- Ganancia proporcional K_p : Ajusta la respuesta del sistema a la magnitud del error.
- Ganancia integral K_i : Elimina el error en estado estacionario.
- Ganancia derivativa K_d : Mejora la estabilidad y la respuesta transitoria.

2. Simulación del sistema:

- Utilizar software como MATLAB o Python para simular la respuesta del sistema con diferentes valores de K_p , K_i y K_d .

3. Ajuste de parámetros:

- Ajustar los valores de K_p , K_i y K_d hasta obtener una respuesta deseada (por ejemplo, sin sobreimpulso y con un tiempo de establecimiento rápido)



Cuestionario Capítulo 4

1. ¿Cuál es la función principal de un controlador proporcional (P)?

- a) Ajustar la salida en función del error acumulado.
- b) Ajustar la salida en proporción directa al error actual.
- c) Predecir el comportamiento futuro del sistema basándose en la derivada del error.
- d) Eliminar completamente el error en el sistema.

2. ¿Qué efecto tiene aumentar la ganancia proporcional (K_p) en un controlador P?

- a) Reduce el tiempo de establecimiento, pero puede aumentar la sobremodulación.
- b) Disminuye el tiempo de establecimiento sin efectos secundarios.
- c) Disminuye la estabilidad del sistema, pero elimina el error estacionario.
- d) Elimina completamente las oscilaciones en el sistema.

3. ¿Cuál es la función principal de un controlador integral (I)?

- a) Actuar solo en función del error presente.
- b) Actuar sobre la tasa de cambio del error.
- c) Ajustar la salida basándose en el valor

acumulado del error en el tiempo.

- d) Mejorar la estabilidad del sistema mediante la amortiguación.

4. ¿Cuál es el principal beneficio de agregar un término integral (I) en un controlador PI?

- a) Mejora la respuesta transitoria.
- b) Ayuda a eliminar el error estacionario en el sistema.
- c) Reduce la sobreganancia del sistema.
- d) Aumenta la respuesta rápida del sistema a perturbaciones.

5. ¿Qué efecto tiene el término derivativo (D) en un controlador PD?

- a) Ajustar la salida en función del error acumulado.
- b) Predecir el comportamiento futuro del sistema basándose en la tasa de cambio del error.
- c) Reducir el error estacionario.
- d) No tiene efecto en la respuesta transitoria.

6. ¿Cuál es la ventaja de un controlador PD en comparación con un controlador P?



- a) Reduce el error acumulado en el tiempo.
- b) Mejora la estabilidad y la respuesta transitoria del sistema al disminuir la tasa de cambio del error.
- c) Elimina el error estacionario de manera más rápida.
- d) No tiene ventaja en comparación con un controlador P.

7. ¿Qué combinación de términos tiene un controlador PID?

- a) Proporcional (P) y derivativo (D).
- b) Proporcional (P) e integral (I).
- c) Proporcional (P), integral (I) y derivativo (D).
- d) Solo integral (I) y derivativo (D).

8. ¿Cuál es la principal ventaja de utilizar un controlador PID en comparación con un controlador P o PI?

- a) El controlador PID mejora tanto la respuesta transitoria como la estabilidad del sistema, eliminando el error estacionario y reduciendo las oscilaciones.
- b) El controlador PID actúa solo sobre el error acumulado.
- c) El controlador PID reduce el costo del sistema.

- d) El controlador PID se utiliza solo en sistemas con errores no acumulativos.

9. ¿Qué efecto tiene el término integral (I) en un controlador PID?

- a) Reduce las oscilaciones en el sistema.
- b) Elimina el error estacionario acumulado con el tiempo.
- c) Aumenta la sensibilidad del sistema al error instantáneo.
- d) Mejora la velocidad de respuesta del sistema.

10. ¿Qué desventaja puede presentar el uso de un controlador PID si no se ajustan correctamente los parámetros?

- a) El sistema puede volverse extremadamente lento y nunca alcanzar la referencia deseada.
- b) La ganancia derivativa puede generar un alto error estacionario.
- c) Un mal ajuste puede llevar a una respuesta altamente oscilatoria o inestable.
- d) El sistema no puede ser controlado automáticamente.

11. En un controlador PID, ¿qué sucede si el término derivativo (K_d o dK_d) es demasiado alto?



- a) El sistema se vuelve más estable y responde más rápido.
- b) El sistema puede volverse inestable debido a una sobreamortiguación excesiva.
- c) El sistema elimina automáticamente todas las oscilaciones.
- d) El sistema se comporta como un controlador PI.

12. ¿Cuál de los siguientes controladores es más adecuado para eliminar el error estacionario sin introducir oscilaciones significativas?

- a) Controlador Proporcional (P).
- b) Controlador Proporcional-Derivativo (PD).
- c) Controlador Proporcional-Integral (PI).
- d) Controlador Derivativo (D).

13. ¿Qué efecto tiene un valor bajo del término proporcional (K_p , K_p) en un controlador PID?

- a) El sistema puede tardar más en alcanzar la referencia deseada, resultando en una respuesta lenta.
- b) Mejora la estabilidad general del sistema al eliminar cualquier error estacionario.

- c) Reduce la respuesta transitoria y puede hacer que el sistema sea más rápido.
- d) No tiene ningún efecto en la respuesta del sistema.

14. ¿Cuál de los siguientes controladores responde mejor ante una perturbación repentina?

- a) Controlador Proporcional (P).
- b) Controlador Proporcional-Integral (PI).
- c) Controlador Proporcional-Derivativo (PD).
- d) Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID).

15. ¿Qué rol juega el término derivativo en un controlador PID para la estabilidad del sistema?

- a) Mejora la velocidad de respuesta, pero puede aumentar el error estacionario.
- b) Ayuda a predecir y corregir oscilaciones antes de que crezcan demasiado.
- c) Incrementa el error en el sistema para obtener una respuesta más rápida.
- d) Disminuye el error acumulado en el tiempo, eliminando el error estacionario.

**BIBLIOGRAFÍA:**

Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2009). *Dispositivos Electrónicos y Teoría de Circuitos* Pearson.

Kurokawa, K. (2012). *Electronics: Principles and Applications*. McGraw-Hill.

Hughes, A., & Drury, B. (2013). *Electrical Machines and Drives*. CRC Press.

Chapman, S. J. (2011). *Electric Machinery and Power System Fundamentals*. McGraw-Hill Education.

Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2013). *Electric Machinery*. McGraw-Hill Education.

CIGRÉ Study Committee B4. (2010). *Benchmarking of Control Strategies for Transformer Cooling Systems*. CIGRÉ.

Babu, S. M., & Shukla, A. (2012). *Electronics Devices and Circuits*. Wiley.

Bogart, T. F., & Elsharkawy, H. (2010). *Electronics: Principles and Applications*. McGraw-Hill Education.

National Electrical Manufacturers Association (NEMA). (2019). *Standard Symbols for Electrical and Electronics Diagrams*. NEMA.

IEEE Standards Association. (2012). *IEEE Std 315-2012, Standard for Graphic Symbols for Electrical and Electronics Diagrams*. IEEE

Hayt, W. H., & Kemmerly, J. E. (2012). *Engineering Circuit Analysis*. McGraw-Hill Education.

Floyd, T. L. (2014). *Principles of Electric Circuits: Conventional Current Version* (9th ed.). Pearson.

Nilsson, J. W., & Riedel, S. A. (2018). *Electric Circuits* (10th ed.). Pearson.

Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O. (2013). *Fundamentals of Electric Circuits* (5th ed.). McGraw-Hill.

Carrasco, P. (2020). *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: Diseño y Ejecución*. McGraw-Hill.

Gómez, F. (2019). *Protección y Distribución en Sistemas Eléctricos*. Alfaomega.

Dorf, R. C., & Svoboda, J. A. (2018). *Introduction to Electric Circuits* (9th ed.). Wiley.

Kaplan, J. (2017). *Manual de Instalaciones Eléctricas*. Pearson.



- Kuo, B. C., & Golnaraghi, F. (2009). *Automatic Control Systems* (9th ed.). Wiley.
- Nise, N. S. (2015). *Control Systems Engineering* (7th ed.). Wiley.
- Brunete, A. (2024). *Introducción a la Automatización*.
- Proadmin. (2024). *Explorando los diferentes tipos de sistemas de control en la industria*. Recuperado de <https://proadmin.es/tipos-de-sistema-de-control/>.
- Wit Automatización. (2024). *Sistemas de Control Industrial: Funciones, Aplicaciones y Clasificación*. Recuperado de <https://witautomatizacion.es/sistemas-de-control-industrial-funciones-aplicaciones-y-clasificacion/>.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5ª ed.). Pearson Educación.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). *Sistemas de control moderno* (12ª ed.). Prentice Hall.
- Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). *Feedback Control of Dynamic Systems* (7ª ed.). Pearson.
- AM Soluciones. (2023). *Tipos de sistemas de control industrial*. Recuperado de <https://www.amsoluciones.com/tipos-de-sistemas-de-control-industrial/>.
- Proadmin. (2024). *Explorando los diferentes tipos de sistemas de control en la industria*. Recuperado de <https://proadmin.es/tipos-de-sistema-de-control/>.
- Ingeniero Mecafenix. (2019). *Que es un sistema de control de lazo abierto y lazo cerrado*. Recuperado de <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/control/sistema-de-control/>.
- Instrumentación y Control. (2009). *Sistema de Control de Lazo Cerrado versus de Lazo Abierto*. Recuperado de <https://instrumentacionycontrol.net/sistema-de-control-de-lazo-cerrado-versus-de-lazo-abierto/>.
- Universidad de Oviedo. (2024). *Análisis de Sistemas en el Dominio del Tiempo*. Recuperado de <http://isa.uniovi.es/docencia/adsii/tema3.pdf>.



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO PELILEO

ISBN: 978-9942-686-27-5



9 789942 686275

Educación gratuita y de calidad