



INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO PELILEO

Sistemas Eléctricos de Potencia: Distribución y Conversión



Sistemas Eléctricos de Potencia: Distribución y Conversión

Directorio editorial institucional

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

Diseño y diagramación

Mg. Belén Chávez
Mg. Santiago Mayorga

Revisión técnica de pares académicos

Ing. Paul López
IST PELILEO
Correo: pmlopez@institutos.gob.ec
Ing. Andrés Sánchez
IST PELILEO
Correo: casanchez@institutos.gob.ec

ISBN: 978-9942-686-12-1

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/).



legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia

AUTOR



Ing. Fabricio Cherres, Mg.

DOCENTE

Ingeniero en
Electromecánica y con
un master en Electricidad
mención Sistemas
Eléctricos de Potencia,
destaca por su impetuosa
participación y liderazgo
en proyectos de
investigación científica.

PRÓLOGO

La electricidad, esa fuerza invisible que ilumina nuestras ciudades, impulsa nuestras industrias y conecta el mundo, fluye a través de una intrincada red de componentes que conforman los sistemas eléctricos de potencia. Desde las centrales eléctricas hasta los enchufes de nuestros hogares, la energía eléctrica viaja a través de líneas de transmisión, subestaciones y redes de distribución.

Redes Eléctricas:

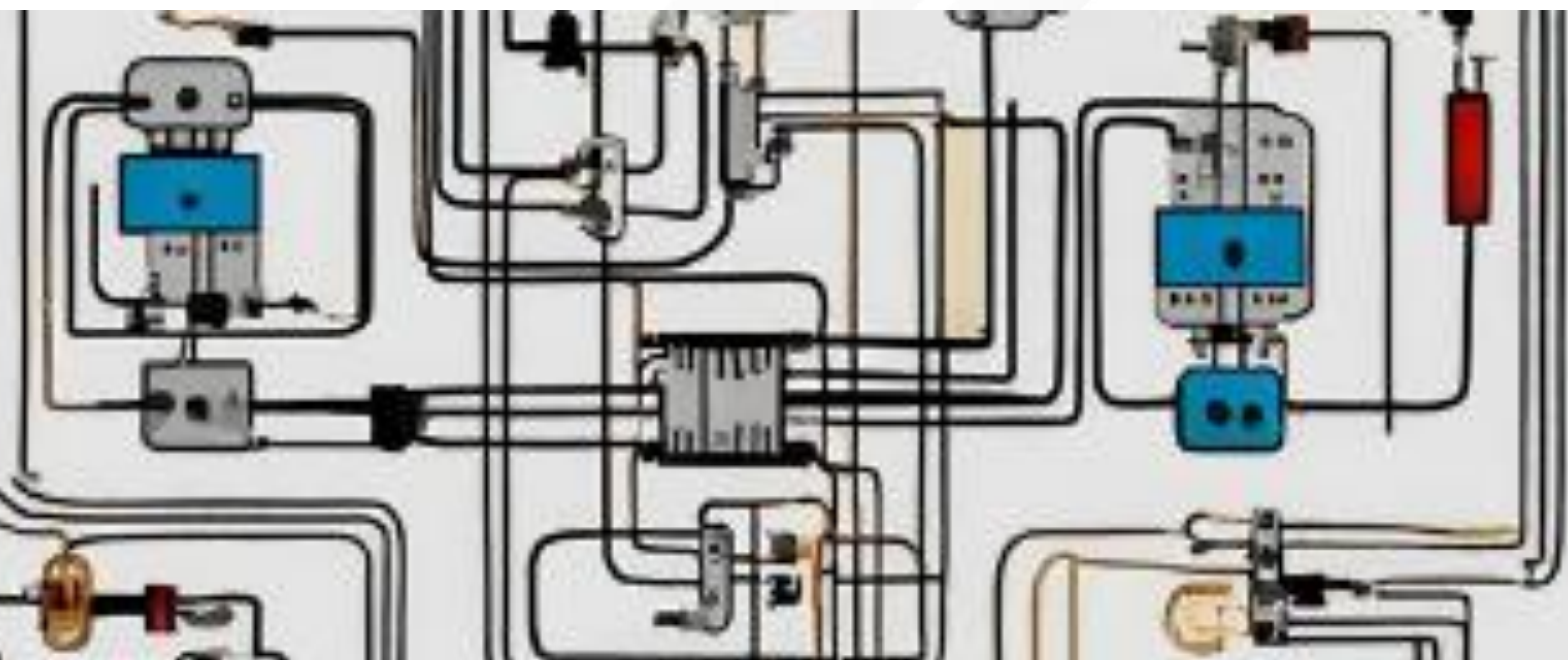
las redes de distribución eléctrica se erigen como la columna vertebral que sustenta nuestro estilo de vida moderno. Desde los hogares hasta las industrias, la energía eléctrica fluye incesantemente a través de una intrincada red de cables, transformadores y subestaciones entretejiendo la

potencia necesaria para iluminar nuestras ciudades, impulsar nuestros aparatos y hacer funcionar la maquinaria que impulsa nuestra economía.

Máquinas Eléctricas de CA:

Las máquinas eléctricas de corriente alterna emergen como protagonistas indiscutibles de la revolución industrial. Desde los humildes comienzos de la generación eléctrica hasta las sofisticadas aplicaciones de hoy en día, estos dispositivos han transformado radicalmente nuestra forma de vivir y trabajar.

"La energía, esa fuerza vital que fluye por el universo, se transforma en electricidad, un río luminoso que alimenta nuestra civilización y nos conecta con el cosmos."





**INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO PELILEO**

TOMO 1:

Redes Eléctricas

Ing. Fabricio Cherres Mg.



CONTENIDOS

01

CAPÍTULO UNO

FUNDAMENTOS DE LA CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA

Introducción a circuitos de corriente alterna
Análisis de la onda de corriente alterna
Dominio del tiempo y la Frecuencia angular
La impedancia

02

CAPÍTULO DOS

CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Potencia eléctrica en circuitos CA
Potencia compleja
Circuitos trifásicos balanceados : Conexión Estrella
Conexión Delta

03

CAPÍTULO TRES

INTRODUCCIÓN A LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Conductores eléctricos.
Resistencia óhmica en conductores
Líneas de transmisión

04

CAPÍTULO CUATRO

ESTRUCTURAS DE BAJO Y MEDIO VOLTAJE

Estructuras de bajo voltaje
Estructuras de medio voltaje

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



01



GENERALIDADES

1.1. Introducción a los circuitos corriente alterna trifásica

Los circuitos de corriente alterna son aquellos formados por una fuente de corriente alterna que alimenta una carga eléctrica que puede ser expresada como una impedancia a través de un medio conductor.

Un generador de corriente alterna funciona de maneras similar a un generador de corriente continua, sin embargo, el generador de corriente alterna es más sencillo en su construcción y operación, dado por esto los grandes generadores de potencia son de corriente alterna y no de corriente continua.

Una de las razones de peso que apoya la generación de energía eléctrica en corriente alterna es la transmisión de esa energía, ya que en grandes cantidades se vuelve casi imposible transportar en corriente continua por la necesidad de conductores de calibres inmanejables y por lo tanto de gran costo.

En la figura 1 se observa el esquema de un generador que puede generar corriente continua y corriente alterna, con un arreglo en el colector especialmente diseñado para sacar la energía del rotor en



Figura 1. Esquema aproximado de un generador eléctrico de cc y ca.

Fuente propia

¿Por qué la corriente alterna es la preferida?

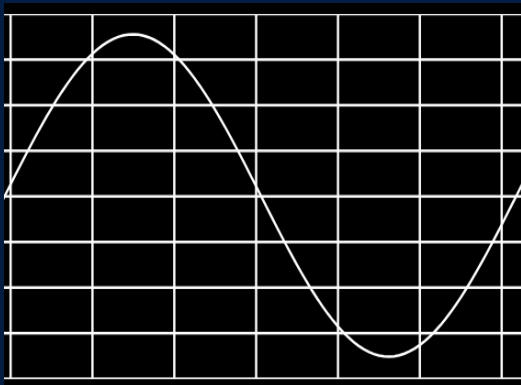
Transformación de voltaje: La CA permite utilizar transformadores para aumentar o disminuir el voltaje de manera sencilla y eficiente.

Generación: Los generadores eléctricos, que convierten energía mecánica en eléctrica, producen naturalmente corriente alterna.

Motores eléctricos: Los motores de corriente alterna son más simples y robustos que los de corriente continua, lo que los hace más adecuados para una amplia gama de aplicaciones industriales.

Distribución: Las redes de distribución de energía eléctrica están diseñadas para operar con corriente alterna. Transformar la corriente continua en alterna y viceversa implica pérdidas.

1.2. Análisis de la onda de corriente alterna



El análisis de la onda de corriente alterna es fundamental en el estudio de circuitos eléctricos. Esta onda, que cambia de polaridad cíclicamente, se caracteriza por su amplitud, frecuencia y fase. Al analizarla, podemos determinar el valor eficaz de la corriente, el cual representa el equivalente de corriente continua en términos de potencia disipada. Además, el análisis de Fourier permite descomponer una forma de onda compleja en una suma de sinusoides, lo que facilita el cálculo de la respuesta de circuitos a diferentes frecuencias. Esta información es crucial en el diseño y análisis de sistemas eléctricos, desde el suministro de energía hasta las comunicaciones.

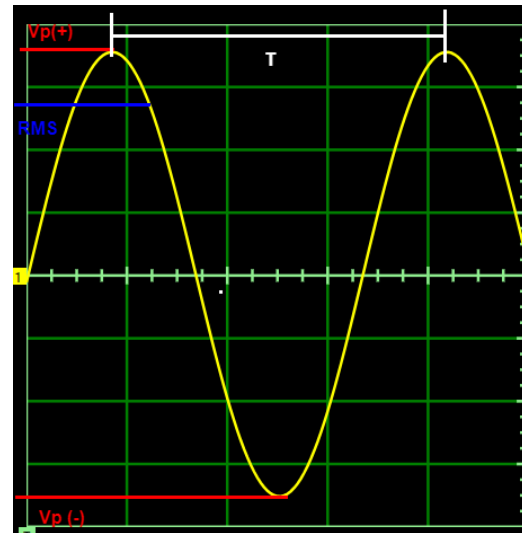


Figura 2: Onda de corriente alterna

Fuente propia

En la figura 2 se puede observar la onda de corriente alterna en color amarillo y los parámetros que pueden ser identificados como son: los Valores pico (en color rojo), el valor RMS (en color azul), el Periodo (en color blanco)

Parámetros de la Onda de Corriente Alterna

La corriente alterna se caracteriza por cambiar continuamente de dirección y magnitud a lo largo del tiempo. Su representación gráfica más común es una onda senoidal, y sus principales parámetros son:

Amplitud (V_p): Es el valor máximo que alcanza la onda, tanto positivo como negativo, desde el eje de las abscisas. Se mide en voltios (V) para la tensión y en amperios (A) para la corriente.

Valor pico a pico (V_{pp}): Es la diferencia entre el valor máximo positivo y el valor máximo negativo



de la onda. Se obtiene multiplicando el valor de pico por 2.

Valor eficaz (Veff): Es el valor equivalente de una corriente continua que produciría la misma potencia en una resistencia. Se calcula dividiendo el valor de pico por la raíz cuadrada de 2 ($V_{eff} = V_p / \sqrt{2}$). Este valor es el que normalmente se indica en las especificaciones de los equipos eléctricos.

Período (T): Es el tiempo que tarda la onda en completar un ciclo completo. Se mide en segundos (s).

Frecuencia (f): Es el número de ciclos completos que se producen en un segundo. Se mide en hertz (Hz). La frecuencia y el período están relacionados por la fórmula $f = 1/T$.

Fase (ϕ): Indica el desplazamiento angular de una onda con respecto a otra de la misma frecuencia. Se mide en radianes o grados.

Otros parámetros relevantes:

Valor medio: Es el promedio de todos los valores instantáneos de la onda durante un ciclo. Para una onda senoidal pura, el valor medio es cero.

Pulsación (ω): Es la velocidad angular de la onda y se relaciona con la frecuencia mediante la fórmula $\omega = 2\pi f$.

Importancia de los parámetros:

Amplitud: Determina la intensidad de la señal.

Frecuencia: Define la velocidad de oscilación de la onda y está relacionada con el tipo de

aplicación (por ejemplo, la frecuencia de la red eléctrica es de 50 o 60 Hz).

Fase: Es fundamental en sistemas de corriente alterna trifásica y en análisis de circuitos con múltiples fuentes de CA.

Valor eficaz: Es el valor utilizado para calcular la potencia en circuitos de CA, ya que es equivalente al valor de corriente continua que produce la misma potencia.

Imagina que tienes una corriente alterna que fluye a través de un cable. Esta corriente está constantemente cambiando de dirección y magnitud. El valor RMS te proporciona un valor constante (como si fuera una corriente continua) que produce la misma cantidad de calor en una resistencia que la corriente alterna original.

El voltaje en las barras o terminales un sistema eléctrico puede considerarse como una onda sinusoidal pura y de frecuencia constante. El voltaje y la corriente en función del tiempo se pueden expresar en la siguiente manera:

$$v(t) = V_{max} * \cos(\omega t) \text{ Ec.1}$$

$$i(t) = I_{max} * \cos(\omega t + \theta) \text{ Ec.2}$$

Los valores picos de la onda son V_{max} e I_{max} respectivamente. La magnitud del valor cuadrático medio (RMS, por sus siglas en inglés) también conocido como valor efectivo o eficaz, es determinado como:

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \text{ Ec.3}$$

$$I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \text{ Ec.3}$$

1.3. Dominio del tiempo y la Frecuencia angular



La frecuencia angular (denotada comúnmente por la letra griega ω) es un concepto fundamental en física, especialmente en el estudio de movimientos oscilatorios y ondas. A diferencia de la frecuencia, que mide el número de ciclos por segundo, la frecuencia angular mide la tasa de cambio del ángulo en un movimiento circular o la tasa de cambio de fase en una onda sinusoidal.

Los valores RMS son los que los equipos de medición muestran, tanto analógicos como digitales, ya que como se entiende el valor instantáneo de $v(t)$ o $i(t)$ cambia a cada instante de tiempo en función de la onda sinusoidal. Para pasar estos valores al dominio de la frecuencia angular, se expresa como fasores que está girando a la velocidad de la frecuencia angular.

Usando la identidad de Euler $e^{i\pi} + 1 = 0$

Donde:

e: Es el número de Euler, la base de los logaritmos naturales. Es un número irracional aproximadamente igual a 2.71828.

i: Es la unidad imaginaria, definida como la raíz cuadrada de -1.

π : Es el número pi, la relación entre la circunferencia de un círculo y su diámetro.

1: Es el elemento neutro de la multiplicación.

0: Es el elemento neutro de la suma.

Esta identidad conecta cinco de los números más importantes en matemáticas: e, i, π , 1 y 0. A primera vista, parece imposible que estos números estén relacionados de esta manera, pero la fórmula de Euler, derivada de la serie de Taylor para funciones exponenciales y trigonométricas, demuestra que sí existe esta conexión.

$$e^{i\theta} = \cos(\theta) + i * \sin(\theta)$$

Sustituyendo θ por π :

$$e^{i\pi} = \cos(\pi) + i * \sin(\pi)$$

Dado que $\cos(\pi) = -1$ y $\sin(\pi) = 0$

$$e^{i\pi} = -1$$

Por lo tanto:

$$v(t) = \text{Re}[V_{\max} * e^{i(\omega t)}]$$

$$i(t) = \text{Re}[I_{\max} * e^{i(\omega t + \theta)}]$$

Entonces:

$$V = V_{\text{rms}} * e^{i\theta} = V_{\text{rms}} < 0^\circ$$

$$I = I_{\text{rms}} * e^{i\theta} = I_{\text{rms}} < \theta^\circ$$

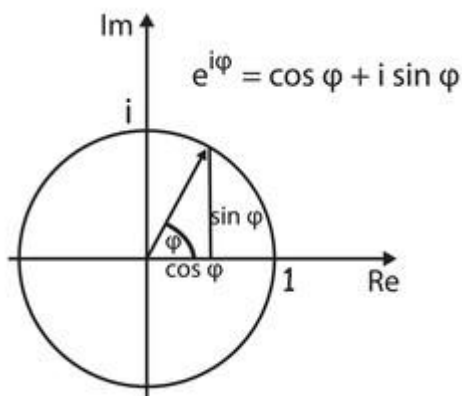
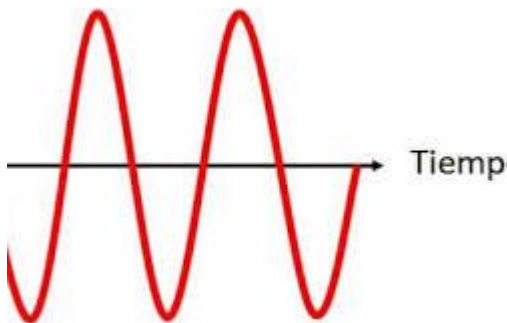


Figura 3: Transformación de dominio de la onda de corriente alterna

Fuente propia

Ejercicio de aplicación 1.1: Dado la siguiente onda de voltaje y de corriente en función del tiempo, determine los fasores en función de la frecuencia angular sabiendo que la frecuencia es 50Hz. Determine también la frecuencia angular.

$$v(t) = 169.7 * \cos(\omega t)$$

$$i(t) = 4.24 * \cos(\omega t + 25^\circ)$$

Solución

El fasor se forma a partir del valor rms y del ángulo de desfase de la onda.

Si se toma como fasor de referencia el voltaje se expresa el fasor de la siguiente manera:

$$V_{\text{rms}} = \frac{169.7}{\sqrt{2}} = 120V$$

$$I_{\text{rms}} = \frac{4.24}{\sqrt{2}} = 3A$$

El fasor de voltaje sería:

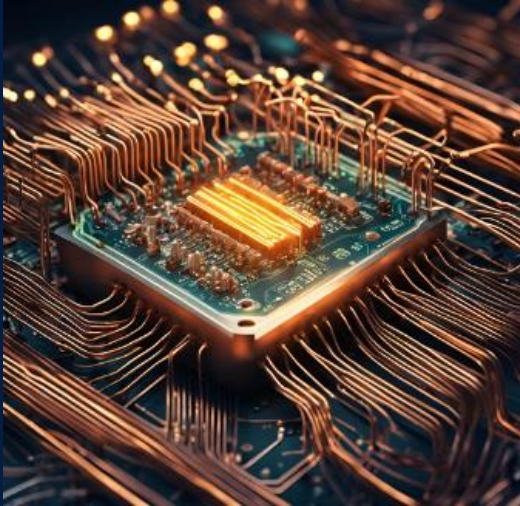
$$V = 120 < 0^\circ$$

$$I = 3 < 25^\circ$$

La frecuencia angular se determina conociendo la frecuencia natural:

$$\omega = 2 * \pi * 50\text{Hz} = 159.07 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

1.4. Impedancia



Imagina que estás tratando de empujar un objeto a través de un terreno lleno de obstáculos. Cuanto más difícil sea el terreno, más fuerza tendrás que hacer para mover el objeto. En electricidad, la impedancia es como ese terreno difícil. Es la oposición que encuentra una corriente eléctrica al circular por un circuito

La impedancia es la oposición que presenta un circuito eléctrico al paso de una corriente alterna, considera los efectos de los componentes reactivos como inductores y capacitores.

Componentes de la impedancia:

Resistencia (R): Es la parte real de la impedancia y representa la oposición al flujo de corriente debido a las colisiones de los electrones con los átomos del conductor. Se mide en ohmios (Ω).

Reactancia (X): Es la parte imaginaria de la impedancia y representa la oposición al flujo de corriente debido a los campos eléctricos y magnéticos generados por inductores y capacitores. Se divide en:

Reactancia inductiva (X_L): Oposición al cambio de la corriente. Aumenta con la frecuencia.

Reactancia capacitiva (X_C): Oposición al cambio de la tensión. Disminuye con la frecuencia.

Representación de la impedancia:

La impedancia se representa como un número complejo:

$$Z = R + iX$$

Donde:

Z: Impedancia total

R: Resistencia

X: Reactancia total ($X_L - X_C$)

i: Unidad imaginaria

¿Por qué es importante la impedancia?

- **Diseño de circuitos:** La impedancia determina la



cantidad de corriente que fluirá en un circuito para una tensión dada.

- **Adaptación de impedancias:** Es fundamental en sistemas de transmisión de señales para evitar pérdidas de energía y reflexiones.
- **Filtrado de frecuencias:** Los circuitos con diferentes impedancias se utilizan para seleccionar o bloquear determinadas frecuencias.
- **Análisis de circuitos:** La impedancia permite analizar el comportamiento de circuitos de CA en frecuencia.

Aplicaciones de la impedancia:

- **Electrónica:** Diseño de amplificadores, filtros, osciladores, etc.
- **Comunicaciones:** Antenas, líneas de transmisión, sistemas de radiofrecuencia.
- **Energía eléctrica:** Transformadores, motores eléctricos, líneas de distribución.

Triángulo de Impedancia

El triángulo de impedancia es una herramienta visual muy útil en el análisis de circuitos de corriente alterna (CA). Nos permite representar de manera gráfica la relación entre la resistencia, la reactancia y la impedancia total de un circuito.

¿Qué representa cada lado del triángulo?

- **Hipotenusa (Z):** Representa la impedancia total del circuito. Es la oposición total al flujo de

corriente y se mide en ohmios (Ω).

- **Cateto adyacente (R):** Representa la resistencia del circuito. Es la oposición al flujo de corriente debido a las colisiones de los electrones con los átomos del conductor.
- **Cateto opuesto (X):** Representa la reactancia del circuito. Es la oposición al flujo de corriente debido a los campos eléctricos y magnéticos generados por inductores y capacitores.

Tipos de triángulos de impedancia

Dependiendo de si la reactancia inductiva (X_L) es mayor o menor que la reactancia capacitiva (X_C), tendremos diferentes tipos de triángulos:

- **Triángulo RL:** Cuando $X_L > X_C$. Predomina la reactancia inductiva.
- **Triángulo RC:** Cuando $X_C > X_L$. Predomina la reactancia capacitiva.
- **Triángulo RLC:** Cuando $X_L = X_C$. La reactancia total es cero y la impedancia es igual a la resistencia.

¿Cómo se utiliza el triángulo de impedancia?

- **Cálculo de la impedancia total:** Utilizando el teorema de Pitágoras, podemos calcular la impedancia total a partir de los valores de resistencia y reactancia.
- **Cálculo de ángulos de fase:** Los ángulos del triángulo nos permiten determinar el ángulo de fase entre la

tensión y la corriente en el circuito.

- **Análisis de circuitos:** El triángulo de impedancia nos ayuda a visualizar y comprender el comportamiento de los circuitos de CA, como, por ejemplo, la resonancia.

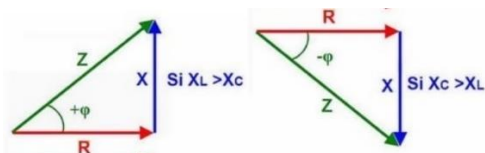


Figura 4: Triángulo de impedancia

Fuente propia

En resumen, la impedancia es un concepto fundamental en electrónica que nos permite analizar y diseñar circuitos de corriente alterna. Al comprender la impedancia, podemos predecir el comportamiento de los circuitos y optimizar su funcionamiento.

Ejercicio de aplicación 1.2: En el ejercicio 1.1 determine la impedancia en módulo, ángulo, componente resistiva y componente reactiva, asumiendo que es un circuito monofásico. Diagrame el triángulo de impedancia.

Solución

Por lo tanto, la impedancia (Z) se determina de la siguiente manera:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{120 \angle 0^\circ}{3 \angle 25^\circ} = 40 \angle -25^\circ \Omega$$

Donde:

- El módulo= 40
- El ángulo= -25°

La componente resistiva se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Z_R = |Z| * \cos \theta$$

$$Z_X = |Z| * \sin \theta$$

Reemplazando los valores:

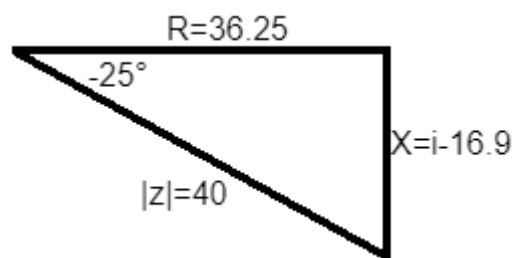
$$Z_R = |40| * \cos -25^\circ = 36.25$$

$$Z_X = |40| * \sin -25^\circ = -16.90$$

Por lo tanto:

$$Z = 36.25 - i16.9 \Omega$$

El triángulo de impedancia sería de la siguiente manera:





CUESTIONARIO CAPITULO 1

1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre la corriente alterna (CA) es FALSA?
 - a) La CA cambia continuamente de dirección.
 - b) La CA tiene un valor constante a lo largo del tiempo.
 - c) La CA se utiliza para transmitir electricidad a grandes distancias.
 - d) La CA se genera en las centrales eléctricas.

2. El valor eficaz (o valor RMS) de una onda de CA representa:
 - a) El valor máximo que alcanza la onda.
 - b) El valor promedio de la onda a lo largo del tiempo.
 - c) El valor de una corriente continua que produciría el mismo efecto calorífico en una resistencia.
 - d) El tiempo que tarda la onda en completar un ciclo.

3. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre los fasores es FALSA?
 - a) Un fasor representa una magnitud sinusoidal en el dominio del tiempo.
 - b) La longitud de un fasor representa el valor máximo de la magnitud.
 - c) El ángulo de un fasor representa el desfase con respecto a una referencia.
 - d) Los fasores pueden sumarse y restarse algebraicamente.

4. En un circuito de CA, la relación de fase entre la tensión y la corriente en un inductor puro es:
 - a) La corriente adelanta a la tensión en 90 grados.
 - b) La tensión adelanta a la corriente en 90 grados.
 - c) La tensión y la corriente están en fase.
 - d) La corriente adelanta a la tensión en 180 grados.



EJERCICIOS CAPITULO 1

Ejercicio 1.

Una señal de voltaje alterna tiene la siguiente expresión:

$$v(t) = 10 \sin(2\pi * 50t + \pi/4) \text{ V}$$

Determina:

- El valor máximo de voltaje (V_m).
- El valor eficaz (V_{rms}).
- La frecuencia (f).
- El período (T).
- El ángulo de fase inicial (ϕ).

Ejercicio 2.

Una corriente alterna tiene un valor máximo de 10 A, una frecuencia de 60 Hz y un ángulo de fase inicial de 30° . Calcula el valor instantáneo de la corriente a $t = 0.02$ segundos.

Ejercicio 3.

Un circuito en serie está compuesto por una resistencia de 10Ω y un inductor de 20 mH. Se aplica una tensión alterna de la forma $v(t) = 100 \sin(100\pi t) \text{ V}$.

- Calcula la impedancia del circuito.
- Determina la corriente que circula por el circuito.
- ¿Cuál es el ángulo de fase entre la tensión y la corriente?

Ejercicio 4

Se tienen dos tensiones expresadas en forma fasorial:

$$V_1 = 10 \angle 30^\circ \text{ V y } V_2 = 5 \angle -60^\circ \text{ V}$$

Determina la tensión resultante $V = V_1 + V_2$ y exprésala en forma polar y rectangular. Representa gráficamente la suma de fasores.

Ejercicio 5

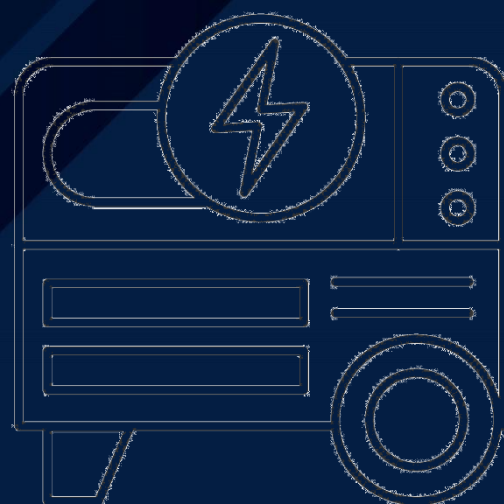
Un circuito en serie está compuesto por una resistencia de 10Ω , un inductor de 20 mH y un capacitor de $100 \mu\text{F}$. Se aplica una tensión alterna de la forma $v(t) = 100 \sin(100\pi t) \text{ V}$.

- Calcula la impedancia total del circuito en forma compleja.
- Determina la corriente que circula por el circuito en forma fasorial.
- Dibuja el diagrama fasorial de tensiones y corrientes.



02

CIRCUITOS TRIFÁSICOS



2.1. Potencia eléctrica en circuito de CA



Imagina la electricidad como un río que fluye. La cantidad de agua que pasa por una presa en un segundo sería como la potencia eléctrica. Es decir, la potencia eléctrica es la medida de la rapidez con la que se transfiere energía eléctrica en un circuito.

La potencia eléctrica en circuitos de CA presenta algunas particularidades en comparación con los circuitos de corriente continua (CC). Esto se debe a que tanto la tensión como la corriente varían sinusoidalmente con el tiempo.

Tipos de Potencia en CA

En los circuitos de CA, se distinguen tres tipos de potencia:

Potencia Apparente (S): Es el producto del valor eficaz de la tensión y la corriente. Se expresa en voltamperios (VA) y representa la potencia total que parece estar suministrando el generador.

$$S = V_{rms} * I_{rms}$$

Potencia Activa (P): Es la potencia realmente consumida por la carga y convertida en otra forma de energía (calor, luz, movimiento). Se expresa en vatios (W).

$$P = V_{rms} * I_{rms} * \cos \varphi$$

Donde $\cos(\varphi)$ es el factor de potencia, que representa el desfase entre la tensión y la corriente.

Potencia Reactiva (Q): Es la potencia que oscila entre la fuente y la carga, almacenándose alternativamente en los campos magnéticos de las inductancias y en



los campos eléctricos de las capacitancias. No realiza trabajo útil. Se expresa en voltamperios reactivos (var).

$$Q = V_{rms} * I_{rms} * \sin \varphi$$

La potencia eléctrica y la Ley de Ohm están íntimamente relacionadas, formando la base de muchos cálculos en circuitos eléctricos.

Dado que la potencia eléctrica se define como el producto del voltaje y la corriente ($P = V * I$), podemos combinar esta ecuación con la Ley de Ohm para obtener dos expresiones adicionales para calcular la potencia:

1. **$P = I^2 * R$** : Esta fórmula es útil cuando conocemos la corriente que circula por una resistencia.
2. **$P = V^2 / R$** : Esta fórmula es útil cuando conocemos el voltaje aplicado a una resistencia.

¿Por qué es importante esta relación?

- **Cálculos de circuitos:** Al conocer la resistencia de un componente y el voltaje o la corriente que lo atraviesa, podemos calcular la potencia que disipa.
- **Selección de componentes:** Al diseñar un circuito, es esencial seleccionar componentes (resistencias, transistores, etc.) que puedan

disipar la potencia calculada sin dañarse.

- **Eficiencia energética:** La relación entre potencia y Ley de Ohm nos permite evaluar la eficiencia energética de diferentes dispositivos y circuitos.

Ejercicio de aplicación 2.1: Imagina una bombilla con una resistencia de 100 ohmios conectada a una fuente de 120 voltios. ¿Cuánta potencia consume la bombilla?

Solución:

1. Calculamos la corriente:

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

$$I = \frac{120V}{100\Omega} = 1.2A$$

2. Calculamos la potencia:

$$P = V * I$$

$$S = 120V * 1.2A = 144 VA$$

Al tratarse de un elemento puramente resistivo

$$S = 144VA \cong 144W$$

Por lo tanto, la bombilla consume 144 watts de potencia.

La Ley de Ohm y la potencia eléctrica están estrechamente relacionadas. La Ley de Ohm nos proporciona una forma de calcular la corriente o el voltaje en un circuito, y al combinar esta información con la fórmula de la potencia, podemos determinar cuánta energía se está consumiendo o produciendo.

2.2. Potencia compleja



Imagina la electricidad como un río que fluye. La cantidad de agua que pasa por una presa en un segundo sería como la potencia eléctrica. Es decir, la potencia eléctrica es la medida de la rapidez con la que se transfiere energía eléctrica en un circuito.

Relación entre las Potencias

La relación entre las potencias aparente, activa y reactiva se puede representar mediante el triángulo de potencias, un triángulo rectángulo donde:

La hipotenusa es la potencia aparente (S).

El cateto adyacente al ángulo ϕ es la potencia activa (P).

El cateto opuesto al ángulo ϕ es la potencia reactiva (Q).

La potencia compleja es una representación matemática de la potencia en un circuito de CA, expresada en forma de número complejo. Esta representación permite considerar tanto la potencia activa (que se disipa en forma de calor) como la potencia reactiva (que se almacena en los campos eléctricos y magnéticos de los componentes reactivos como inductores y capacitores).

¿Cómo se expresa matemáticamente?

La potencia compleja, denotada por la letra **S**, se define como:

- $S = P + jQ$

Donde:

- **S:** Potencia compleja (en voltamperios complejos, VA)
- **P:** Potencia activa (en vatios, W), que representa la potencia realmente consumida por la carga y disipada en forma de calor.
- **Q:** Potencia reactiva (en voltamperios reactivos, var), que representa la potencia



que fluctúa entre la fuente y la carga, almacenándose en los campos eléctricos y magnéticos de los componentes reactivos.

- **j:** Unidad imaginaria ($\sqrt{-1}$)

¿Por qué es útil la potencia compleja?

- **Simplifica cálculos:** Permite realizar cálculos de potencia en circuitos de CA de manera más sencilla, utilizando las reglas de los números complejos.
- **Representación gráfica:** El diagrama fasorial de la potencia compleja permite visualizar la relación entre la potencia activa, reactiva y aparente.
- **Análisis de circuitos:** Facilita el análisis de circuitos de CA, permitiendo calcular la potencia total, el factor de potencia y otras magnitudes relevantes

¿Qué representa cada componente de la potencia compleja?

- **Potencia activa (P):** Es la potencia realmente consumida por la carga y se disipa en forma de calor. Representa la parte real de la potencia compleja.
- **Potencia reactiva (Q):** Es la potencia que oscila entre la fuente y la carga, almacenándose en los campos eléctricos y magnéticos de los componentes reactivos. Representa la parte

imaginaria de la potencia compleja.

- **Potencia aparente (S):** Es la magnitud de la potencia compleja y representa la potencia total que circula por el circuito. Se calcula como el módulo del número complejo S.
- **¿Cuál es la relación entre la potencia compleja y el factor de potencia?**

El factor de potencia (FP) es una medida de la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica en un circuito. Se define como el coseno del ángulo de fase entre el voltaje y la corriente. Un factor de potencia bajo indica que una gran parte de la potencia suministrada es reactiva y no se utiliza para realizar trabajo útil.

¿Para qué se utiliza la potencia compleja en la práctica?

La potencia compleja se utiliza en diversas aplicaciones, como:

- **Diseño de sistemas eléctricos:** Para calcular las dimensiones de los conductores, los transformadores y otros componentes.
- **Análisis de redes eléctricas:** Para evaluar la eficiencia de las redes y detectar posibles problemas.
- **Corrección del factor de potencia:** Para mejorar la eficiencia energética de los sistemas eléctricos.

2.3. Circuitos trifásicos balanceados Estrella – Delta.



Lo ideal es que todos los circuitos sean balanceados, pero llevarlos a la realidad es una tarea de gran trabajo

Un circuito trifásico balanceado es un sistema de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica que utiliza tres fuentes de voltaje alternas de igual magnitud y frecuencia, pero desfasadas 120 grados eléctricos entre sí. Además, las impedancias de las cargas conectadas a cada fase son iguales.

Características principales:

- **Tres fases:** El sistema se compone de tres fases, generalmente denominadas A, B y C.
- **Igual magnitud:** El voltaje de cada fase tiene la misma amplitud.
- **Igual frecuencia:** Las tres fases oscilan a la misma frecuencia.
- **Desfase de 120 grados:** Las fases están desplazadas angularmente 120 grados entre sí.
- **Impedancias balanceadas:** Las cargas conectadas a cada fase tienen la misma impedancia.

¿Por qué se utilizan los sistemas trifásicos?

- **Mayor eficiencia:** Los sistemas trifásicos ofrecen una mayor eficiencia en la transmisión de energía en comparación con los sistemas monofásicos.
- **Mayor potencia:** Para una misma sección de conductor, se puede transmitir una mayor potencia en un sistema trifásico.

- **Mayor flexibilidad:** Permiten alimentar cargas monofásicas y trifásicas.
- **Menor peso y tamaño de los conductores:** Al distribuir la carga entre las tres fases, se pueden utilizar conductores de menor sección.

Conexiones en sistemas trifásicos

Los circuitos trifásicos pueden conectarse en dos configuraciones principales:

- **Estrella (Y):** En esta conexión, un extremo de cada devanado está conectado a un punto común llamado neutro.
- **Delta (Δ):** En esta conexión, los extremos de cada devanado están conectados en serie formando un triángulo.

Ventajas de los sistemas trifásicos balanceados

- **Distribución uniforme de la carga:** La carga se distribuye de manera uniforme entre las tres fases, lo que reduce las vibraciones y el calentamiento de los equipos.
- **Mayor facilidad de análisis:** Los cálculos en sistemas trifásicos balanceados son más sencillos debido a la simetría del sistema.
- **Mejor calidad de la energía:** Los sistemas trifásicos balanceados proporcionan una energía de mayor calidad, con menores distorsiones armónicas.

Aplicaciones de los sistemas trifásicos

Los sistemas trifásicos se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo:

- **Generación de energía eléctrica:** En centrales eléctricas, los generadores producen energía eléctrica en forma trifásica.
- **Transmisión de energía:** Las líneas de transmisión de alta tensión son casi siempre trifásicas.
- **Distribución de energía:** La energía eléctrica se distribuye a los consumidores a través de redes trifásicas.
- **Motores eléctricos:** La mayoría de los motores eléctricos industriales utilizan alimentación trifásica.

Los circuitos trifásicos balanceados son la columna vertebral de los sistemas eléctricos modernos. Su eficiencia, capacidad de transmisión de potencia y flexibilidad los hacen ideales para una amplia gama de aplicaciones.

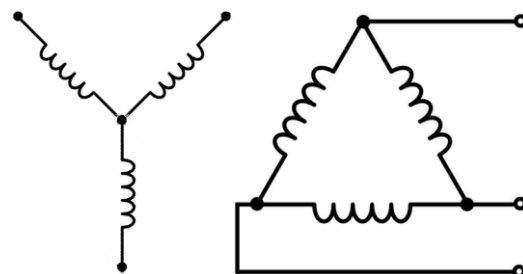


Figura 5: Conexión Estrella - Delta

Fuente propia



CUESTIONARIO CAPITULO 2

1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre la potencia aparente (S) en un circuito CA es correcta?
 - a) Representa la potencia realmente consumida por la carga.
 - b) Es igual a la potencia activa más la potencia reactiva.
 - c) Se mide en vatios (W).
 - d) No depende del factor de potencia.
2. ¿Qué sucede con la potencia reactiva en un circuito CA puramente inductivo?
 - a) Es nula.
 - b) Es máxima y positiva.
 - c) Es máxima y negativa.
 - d) Depende del valor de la inductancia.
3. ¿Cuál es el objetivo principal de la corrección del factor de potencia en un sistema eléctrico?
 - a) Aumentar la tensión del sistema.
 - b) Reducir las pérdidas en las líneas de transmisión.
 - c) Aumentar la potencia aparente.
 - d) Disminuir la frecuencia de la corriente.
4. Si en un circuito CA se tiene un factor de potencia de 0.8 inductivo, ¿qué componente se debe conectar en paralelo para mejorar el factor de potencia?
 - a) Una resistencia.
 - b) Un inductor.
 - c) Un capacitor.
 - d) Un diodo.
5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre un sistema trifásico balanceado es INCORRECTA?
 - a) Las tres fases tienen la misma amplitud.
 - b) Las tres fases tienen la misma frecuencia.
 - c) Las tres fases están desfasadas 120 grados eléctricos entre sí.
 - d) Las cargas conectadas a cada fase siempre son iguales.
6. En un sistema trifásico conectado en estrella, la tensión de línea es:
 - a) Igual a la tensión de fase.
 - b) $\sqrt{3}$ veces la tensión de fase.
 - c) La mitad de la tensión de fase.
 - d) Independiente de la tensión de fase.
7. ¿Qué tipo de conexión trifásica se utiliza comúnmente para alimentar motores eléctricos de gran potencia?
 - a) Estrella.
 - b) Delta.
 - c) Ambas conexiones son igualmente comunes.



EJERCICIOS CAPITULO 2

1. En un circuito de CA, una resistencia de $10\ \Omega$ se conecta a una fuente de 220 V a 50 Hz. Calcular:

- a) La impedancia del circuito.
- b) La corriente que circula por el circuito.
- c) La potencia activa y la potencia aparente.

2. Un circuito de CA serie está compuesto por una resistencia de $50\ \Omega$, una inductancia de 0.2 H y una capacitancia de $100\ \mu\text{F}$. Se conecta a una fuente de 120 V a 60 Hz. Determinar:

- a) La impedancia total del circuito.
- b) La corriente eficaz.
- c) El ángulo de fase entre la tensión y la corriente.
- d) La potencia activa, reactiva y aparente.

3. Un motor eléctrico trifásico conectado en estrella tiene una tensión de línea de 400 V y una corriente de línea de 50 A. El factor de potencia del motor es 0.8 inductivo. Calcular:

- a) La potencia activa, reactiva y aparente.
- b) La corriente de fase.

4. Una fábrica consume una potencia activa de 100 kW y una potencia reactiva de 60 kvar. El factor de potencia de la instalación es inductivo. Se desea mejorar el factor de potencia a 0.95. Calcular:

- a) La potencia aparente actual.
- b) La potencia aparente después de la corrección.
- c) La potencia reactiva que se debe compensar.

5. Un sistema trifásico balanceado conectado en estrella tiene una tensión de línea de 400 V. Calcular:

- a) La tensión de fase.
- b) Si se conecta una carga balanceada de $10\ \Omega$ por fase, calcular la corriente de línea y la corriente de fase.

6. Un motor trifásico conectado en delta tiene una corriente de línea de 20 A. Si la impedancia por fase del motor es de $10 + j5\ \Omega$, calcular:

- a) La tensión de línea.
- b) La potencia activa, reactiva y aparente por fase y total.

7. Un sistema trifásico balanceado alimenta una carga conectada en estrella. La tensión de línea es de 415 V y la potencia total consumida es de 30 kW con un factor de potencia de 0.8 inductivo. Calcular:

- a) La impedancia por fase de la carga.
- b) La corriente de línea.
- c) El valor de la capacitancia a conectar en paralelo por fase para corregir el factor de potencia a 0.95.



03

INTRODUCCIÓN A LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN



3.1. Conductores Eléctricos



Los conductores eléctricos son materiales que permiten el flujo de corriente eléctrica a través de ellos. Son esenciales en cualquier circuito eléctrico, desde los dispositivos electrónicos más pequeños hasta las redes de distribución de energía a gran escala

Los conductores eléctricos son los elementos fundamentales en cualquier sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica. Estos componentes, generalmente metálicos, permiten el flujo de corriente eléctrica desde las centrales de generación hasta los puntos de consumo final.

Características de los Conductores en Redes Eléctricas

- **Material:** Los materiales más comúnmente utilizados son el cobre y el aluminio debido a su alta conductividad eléctrica. El cobre, aunque más caro, ofrece una menor resistencia y mayores densidades de corriente. El aluminio, por su parte, es más ligero y se utiliza en líneas de transmisión de larga distancia.
- **Sección:** El área de la sección transversal del conductor determina su capacidad para transportar corriente. Una sección mayor permite un flujo de corriente más elevado sin generar un calentamiento excesivo.
- **Aislamiento:** Los conductores están recubiertos de materiales aislantes como el PVC, el polietileno o la goma, para evitar cortocircuitos y garantizar la seguridad.
- **Longitud:** La longitud del conductor influye directamente en la caída de tensión y en las pérdidas por efecto Joule.



Conductores Eléctricos en Redes de Transmisión y Distribución: Una Explicación Detallada

Los conductores eléctricos son los elementos fundamentales en cualquier sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica. Estos componentes, generalmente metálicos, permiten el flujo de corriente eléctrica desde las centrales de generación hasta los puntos de consumo final.

Características de los Conductores en Redes Eléctricas

- **Material:** Los materiales más comúnmente utilizados son el cobre y el aluminio debido a su alta conductividad eléctrica. El cobre, aunque más caro, ofrece una menor resistencia y mayores densidades de corriente. El aluminio, por su parte, es más ligero y se utiliza en líneas de transmisión de larga distancia.
- **Sección:** El área de la sección transversal del conductor determina su capacidad para transportar corriente. Una sección mayor permite un flujo de corriente más elevado sin generar un calentamiento excesivo.
- **Aislamiento:** Los conductores están recubiertos de materiales aislantes como el PVC, el polietileno o la goma, para evitar cortocircuitos y garantizar la seguridad.
- **Longitud:** La longitud del conductor influye directamente en la caída de

tensión y en las pérdidas por efecto Joule.

Tipos de Conductores y Aplicaciones

- **Conductores desnudos:** Se utilizan en líneas aéreas de alta tensión, donde el aire actúa como aislante.
- **Conductores aislados:** Se emplean en redes de distribución y en instalaciones interiores, donde se requiere un mayor nivel de seguridad.
- **Conductores en fase:** Son los conductores que transportan las diferentes fases de la corriente alterna trifásica.
- **Conductores neutros:** Conectan el punto neutro de los transformadores a tierra y sirven como retorno de la corriente en sistemas trifásicos.
- **Conductores de protección:** Conectan las masas metálicas de las instalaciones a tierra para garantizar la seguridad de las personas y los equipos.

Conductores de Aluminio

El aluminio, a pesar de tener una conductividad eléctrica ligeramente inferior al cobre, se ha convertido en el material predominante para los conductores de las líneas de transmisión eléctrica por varias razones:

- **Peso:** El aluminio es aproximadamente un tercio más ligero que el cobre. Esto significa que se requieren menos torres de soporte y



estructuras más ligeras para las líneas de transmisión, lo que reduce significativamente los costos de construcción y mantenimiento.

- **Costo:** El aluminio es considerablemente más barato que el cobre, lo que lo hace una opción más económica para grandes proyectos de transmisión.
- **Resistencia a la corrosión:** El aluminio forma una capa de óxido protectora en su superficie que lo hace resistente a la corrosión atmosférica, lo que aumenta su vida útil.

Características de los Conductores de Aluminio

- **Conductividad:** Aunque inferior al cobre, la conductividad del aluminio es suficiente para las aplicaciones en líneas de transmisión.
- **Expansión térmica:** El aluminio tiene un coeficiente de expansión térmica más alto que el cobre, lo que debe considerarse en el diseño de las líneas para evitar tensiones excesivas debido a los cambios de temperatura.
- **Resistencia mecánica:** El aluminio tiene una buena resistencia mecánica, lo que permite fabricar conductores de gran longitud sin que se deformen excesivamente bajo su propio peso.

Tipos de Conductores de Aluminio en Líneas de Transmisión

- **ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced):** Este tipo de conductor combina un alma de acero de alta resistencia con alambres de aluminio. El acero proporciona la resistencia mecánica necesaria, mientras que el aluminio aporta la conductividad eléctrica.
- **ACAR (Aluminum Conductor Alloy Reinforced):** Similar al ACSR, pero en lugar de acero, utiliza un alma de aleación de aluminio de alta resistencia.
- **AAAC (All-Aluminum Alloy Conductor):** Conductor compuesto completamente de aleación de aluminio, ofreciendo una buena combinación de resistencia y conductividad.

Ventajas de los Conductores de Aluminio

- **Menor peso:** Facilita la instalación y reduce los costos de transporte.
- **Mayor alcance:** Al ser más ligero, se pueden construir líneas de transmisión más largas entre torres de soporte.
- **Menor impacto ambiental:** La producción de aluminio requiere menos energía que la del cobre.
- **Mayor resistencia a la corrosión:** Aumenta la vida útil de las líneas.



Desventajas de los Conductores de Aluminio

- **Menor conductividad:** Comparado con el cobre, requiere secciones mayores para transportar la misma cantidad de corriente.
- **Mayor expansión térmica:** Puede provocar problemas de tensión en las líneas si no se diseñan adecuadamente.
- **Susceptibilidad a la corrosión galvánica:** Si el aluminio entra en contacto con otros metales, puede producirse corrosión.

Factores a Considerar en la Selección de Conductores

- **Intensidad de corriente:** La sección del conductor debe ser suficiente para transportar la corriente máxima prevista sin sobrecalentarse.
- **Tensión:** A mayor tensión, mayor espesor de aislamiento se requiere.
- **Longitud de la línea:** La caída de tensión aumenta con la longitud del conductor, por lo que se deben seleccionar secciones adecuadas para mantener la tensión dentro de los límites permitidos.
- **Ambiente:** Las condiciones ambientales (temperatura, humedad, contaminación) influyen en la degradación del aislamiento y en la resistencia del conductor.
- **Costo:** El costo del material y de la instalación es un factor importante a considerar.

Problemas y Soluciones Relacionados con los Conductores

- **Caída de tensión:** La caída de tensión en los conductores provoca una disminución de la tensión en los puntos de consumo. Para minimizarla, se utilizan conductores de mayor sección o se reducen las longitudes de las líneas.
- **Pérdidas por efecto Joule:** La circulación de corriente eléctrica por un conductor genera calor, lo que representa una pérdida de energía. Estas pérdidas se pueden reducir utilizando conductores de mayor sección o materiales de baja resistividad.
- **Corrosión:** Los conductores expuestos a la intemperie pueden sufrir corrosión, lo que reduce su conductividad y puede provocar fallas.
- **Sobrecalentamiento:** Un sobrecalentamiento excesivo puede dañar el aislamiento y provocar cortocircuitos.

Tendencias Actuales en Conductores Eléctricos

- **Conductores de alta temperatura:** Permiten transportar mayores densidades de corriente y reducir las pérdidas.
- **Conductores superconductores:** Ofrecen una resistencia nula a bajas temperaturas, lo que permitiría transmitir energía eléctrica sin pérdidas.

3.2. Resistencia en Conductores de Líneas de Transmisión



La resistencia de los conductores es la oposición que presentan estos ante el paso de corriente, debido justamente a la poca capacidad que tienen para conducir dicha corriente.

La resistencia eléctrica es una propiedad fundamental de los materiales conductores que se opone al flujo de corriente eléctrica. En el contexto de las líneas de transmisión, la resistencia de los conductores juega un papel crucial, ya que influye directamente en las pérdidas de energía durante la transmisión de electricidad.

Resistencia en Conductores de Líneas de Transmisión

La resistencia eléctrica es una propiedad fundamental de los materiales conductores que se opone al flujo de corriente eléctrica. En el contexto de las líneas de transmisión, la resistencia de los conductores juega un papel crucial, ya que influye directamente en las pérdidas de energía durante la transmisión de electricidad.

Factores que Afectan la Resistencia de los Conductores

La resistencia de un conductor depende de varios factores:

- **Material:** La resistividad es una propiedad intrínseca de cada material. El cobre y el aluminio, los materiales más comunes en conductores eléctricos, tienen diferentes resistividades.
- **Longitud:** A mayor longitud del conductor, mayor será su resistencia.
- **Sección transversal:** A mayor área de la sección transversal, menor será la resistencia.



- **Temperatura:** La resistencia de la mayoría de los materiales aumenta con la temperatura.

Efectos de la Resistencia en las Líneas de Transmisión

- **Pérdidas por efecto Joule:** La corriente eléctrica que circula por un conductor genera calor debido a la resistencia. Esta energía disipada en forma de calor representa una pérdida de potencia en la línea de transmisión.
- **Caída de tensión:** La resistencia de los conductores provoca una caída de tensión a lo largo de la línea, lo que significa que la tensión en el extremo receptor es menor que la tensión en el extremo emisor.
- **Eficiencia de la transmisión:** Las pérdidas por resistencia reducen la eficiencia de la transmisión de energía eléctrica.

Minimización de las Pérdidas por Resistencia

Para minimizar las pérdidas por resistencia en las líneas de transmisión, se utilizan diversas estrategias:

- **Selección del material:** Se eligen materiales con baja resistividad, como el cobre o el aluminio.
- **Aumento de la sección:** Al aumentar el área de la sección transversal del

conductor, se reduce su resistencia.

- **Reducción de la longitud:** Se emplean torres de alta tensión para aumentar la distancia entre los puntos de apoyo y reducir la longitud de los conductores.
- **Enfriamiento de los conductores:** En algunos casos, se utilizan sistemas de enfriamiento para reducir la temperatura de los conductores y disminuir su resistencia.

Cálculo de la Resistencia

La resistencia de un conductor se calcula utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde:

- **R:** Resistencia en ohmios (Ω)
- **ρ :** Resistividad del material en ohmios por metro ($\Omega \cdot m$)
- **L:** Longitud del conductor en metros (m)
- **A:** Área de la sección transversal del conductor en metros cuadrados (m^2)

Variación de la resistencia de un conductor en función de la temperatura

La resistencia eléctrica de un material se debe al choque de los electrones libres (los que permiten el flujo de corriente) con los iones que forman la red cristalina del material.



A medida que aumenta la temperatura:

- **Aumenta la vibración de los iones:** Los iones vibran con mayor amplitud alrededor de sus posiciones de equilibrio, lo que dificulta el movimiento ordenado de los electrones libres.
- **Aumenta la probabilidad de colisiones:** La mayor vibración de los iones aumenta la probabilidad de que los electrones libres choquen con ellos, lo que disipa energía en forma de calor y reduce la movilidad de los electrones.

Relación entre resistencia y temperatura

En general, para la mayoría de los metales, la resistencia eléctrica aumenta con la temperatura. Esta relación se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

Donde:

- **R₂:** Resistencia a una temperatura t₂ final
- **R₁:** Resistencia a una temperatura de referencia t₁.
- **t₂:** temperatura final de operación
- **t₁:** temperatura de referencia (generalmente 20°C)
- **T:** Constante del conductor (234.5 para conductor de cobre al 100% de

conductividad, 228 para conductores de aluminio de 61% de conductividad)

El coeficiente de temperatura α es una propiedad característica de cada material y representa la variación relativa de la resistencia por grado de temperatura.

Excepciones

Aunque en la mayoría de los metales la resistencia aumenta con la temperatura, existen excepciones:

- **Semiconductores:** En los semiconductores, la resistencia disminuye al aumentar la temperatura, debido a que se generan más portadores de carga (electrones y huecos).
- **Superconductores:** A muy bajas temperaturas, algunos materiales pierden toda su resistencia eléctrica, convirtiéndose en superconductores.

Consecuencias prácticas

La variación de la resistencia con la temperatura tiene importantes implicaciones en aplicaciones eléctricas y electrónicas:

- **Diseño de circuitos:** Es necesario tener en cuenta esta variación para garantizar el correcto funcionamiento de los circuitos en un amplio rango de temperaturas.
- **Calentamiento de conductores:** El calentamiento de un conductor debido al paso de corriente aumenta su



resistencia, lo que puede llevar a un mayor calentamiento y, eventualmente, a un fallo del conductor.

- **Termistores:** Son dispositivos cuya resistencia varía significativamente con la temperatura y se utilizan en termómetros, termostatos y otros sensores de temperatura.

Ejercicio de aplicación 3.1: Un conductor trenzado de aluminio ASCR, de 2.3km de longitud, tiene una resistencia de cd de 0.031Ω , a 20°C , y una resistencia de ca de $0.0156\Omega/\text{km}$ a 50°C . Verifica la relación entre la resistencia en cd con la resistencia de ca.

Solución:

La resistencia del conductor ca a 50°C se obtiene multiplicando por la distancia total.

$$R_{ca} = 0.0156 \frac{\Omega}{\text{km}} * 2.3\text{km}$$

$$R_{ca} = 0.0358\Omega$$

Para la resistencia en cd a la misma temperatura de 50°C tenemos:

$$R_2 = R_1 * \left(\frac{T + t_2}{T + t_1} \right)$$

$$R_2 = 0.031 * \left(\frac{228 + 50}{228 + 20} \right)$$

$$R_2 = 0.0347$$

La relación entre las resistencias de obtiene de la siguiente manera:

$$\%Diferencia = \frac{(0.0347 - 0.0358)}{0.0358} * 100$$

$$\%Diferencia = 3.14\%$$

Ejercicio de aplicación 3.2: Un conductor trenzado de aluminio ASCR, de 5km de longitud, tiene una resistencia de cd de 0.0108Ω , a 30°C , y una resistencia de ca de $0.0486\Omega/\text{km}$ a 60°C . Verifica la relación entre la resistencia en cd con la resistencia de ca.

Solución:

La resistencia del conductor ca a 50°C se obtiene multiplicando por la distancia total.

$$R_{ca} = 0.0486 \frac{\Omega}{\text{km}} * 2.3\text{km}$$

$$R_{ca} = 0.0111\Omega$$

Para la resistencia en cd a la misma temperatura de 50°C tenemos:

$$R_2 = R_1 * \left(\frac{T + t_2}{T + t_1} \right)$$

$$R_2 = 0.108 * \left(\frac{228 + 60}{228 + 30} \right)$$

$$R_2 = 0.121$$

La relación entre las resistencias de obtiene de la siguiente manera:

$$\%Diferencia = \frac{(0.111 - 0.121)}{0.121} * 100$$

$$\%Diferencia = 8.3\%$$

Los conductores eléctricos son componentes esenciales en las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica. Su elección y diseño adecuados garantizan la eficiencia, seguridad y fiabilidad del suministro eléctrico.

3.3. Líneas de transmisión



Las líneas de transmisión son las venas que llevan la energía a todo el sistema eléctrico de potencia.

Una línea de transmisión es una infraestructura esencial en el sistema eléctrico que permite transportar grandes cantidades de energía eléctrica a largas distancias desde las centrales de generación hasta los centros de consumo. Estas líneas son, en esencia, conductores eléctricos de alta tensión que se extienden a través de vastas áreas geográficas.

Componentes principales de una línea de transmisión

- **Conductores:** Generalmente hechos de aluminio o cobre, son los elementos por donde circula la corriente eléctrica.
- **Aisladores:** Estos componentes evitan que la corriente eléctrica se escape hacia la torre de transmisión o hacia el suelo.
- **Torres de transmisión:** Son estructuras robustas que soportan los conductores y los aíslan del suelo.
- **Subestaciones:** Estas instalaciones conectan las líneas de transmisión entre sí y reducen la tensión para su distribución a los consumidores.

Tipos de líneas de transmisión

- **Aéreas:** Son las más comunes y consisten en conductores suspendidos de torres de transmisión.
- **Subterráneas:** Se utilizan en zonas urbanas o con alta densidad de población, donde las líneas aéreas pueden ser visualmente



impactantes o presentar riesgos.

¿Por qué se utilizan altas tensiones en las líneas de transmisión?

- **Reducción de pérdidas:** Al transmitir la energía a altas tensiones, se reduce la intensidad de corriente para una misma potencia. Como las pérdidas en una línea son proporcionales al cuadrado de la intensidad de corriente, estas pérdidas se minimizan significativamente.
- **Mayor eficiencia:** La transmisión a alta tensión permite transportar grandes cantidades de energía a través de conductores de menor sección, lo que reduce los costos de material y construcción.

Funcionamiento básico

La energía eléctrica generada en una central eléctrica se eleva a una tensión muy alta mediante transformadores. Esta energía de alta tensión se transporta a través de las líneas de transmisión hasta las subestaciones, donde se reduce la tensión a niveles adecuados para su distribución local.

Desafíos en el diseño y operación de líneas de transmisión

- **Caída de tensión:** La resistencia de los conductores y la reactancia inductiva causan una caída de tensión a lo largo de la línea, lo que debe considerarse en el diseño.

- **Pérdidas por corona:** A altas tensiones, puede producirse una descarga parcial del aire alrededor de los conductores, lo que genera pérdidas de energía y interferencias radioeléctricas.
- **Influencia del clima:** Las condiciones climáticas adversas, como tormentas, viento fuerte y hielo, pueden afectar el funcionamiento de las líneas de transmisión y causar interrupciones en el suministro eléctrico.

Importancia de las líneas de transmisión

Las líneas de transmisión son fundamentales para el suministro de energía eléctrica a la sociedad moderna. Permiten transportar grandes cantidades de energía eléctrica a largas distancias de manera eficiente y económica. Sin ellas, sería imposible suministrar electricidad a las ciudades, industrias y hogares.

Clasificación de las Líneas de Transmisión según su Longitud

La clasificación de las líneas de transmisión según su longitud es fundamental para el análisis y diseño de sistemas eléctricos, ya que el comportamiento de una línea depende en gran medida de su longitud. Esta clasificación se basa en la influencia relativa de los parámetros distribuidos de la línea (resistencia, inductancia y capacitancia) en su comportamiento.



Tipos de Líneas de Transmisión según su Longitud

1. Líneas Cortas:

Longitud: Generalmente menores a 80 km.

Características:

- Se considera que la capacitancia es despreciable.
- La caída de tensión se calcula principalmente por la resistencia.
- Se utilizan modelos simplificados para su análisis.

Ejemplos: Líneas de distribución primaria y algunas líneas de transmisión de baja tensión.

2. Líneas Medias:

Longitud: Entre 80 y 240 km aproximadamente.

Características:

- Se considera la influencia tanto de la resistencia como de la capacitancia.
- Se utilizan modelos más complejos, como los modelos π o T, para su análisis.
- La caída de tensión se calcula considerando tanto la resistencia como la reactancia.

Ejemplos: Muchas líneas de transmisión de subtransmisión y algunas de transmisión.

3. Líneas Largas:

Longitud: Superiores a 240 km.

Características:

- Se consideran todos los parámetros distribuidos de la línea (resistencia, inductancia y capacitancia).
- Se utilizan modelos distribuidos para su análisis, como las ecuaciones de telegrafistas.
- Los fenómenos de onda viajera y reflexión son importantes en este tipo de líneas.

Ejemplos: Líneas de transmisión de ultra alta tensión que conectan grandes centros de generación con centros de carga.

Análisis de las líneas de transmisión

- **Modelos de cálculo:** Cada tipo de línea requiere un modelo matemático diferente para su análisis.
- **Diseño de sistemas de protección:** Los sistemas de protección deben ser diseñados de acuerdo con las características de cada tipo de línea.
- **Evaluación de pérdidas:** Las pérdidas de energía en una línea dependen de su longitud y de los parámetros distribuidos.
- **Estabilidad del sistema:** La estabilidad del sistema

eléctrico se ve afectada por las características de las líneas de transmisión.

Factores que influyen en la clasificación

- **Longitud física de la línea:** Es el factor determinante para clasificar una línea.
- **Tensión nominal:** Las líneas de alta tensión suelen ser más largas.
- **Frecuencia de operación:** La frecuencia afecta a la reactancia inductiva y capacitiva de la línea.
- **Carga de la línea:** La carga de la línea influye en la caída de tensión y en las pérdidas.

Inductancia en líneas de transmisión

La inductancia interna de un conductor en una línea de transmisión se refiere a la inductancia asociada al flujo magnético que se produce dentro del propio conductor cuando circula una corriente eléctrica. Este flujo magnético genera un campo magnético que induce una fem (fuerza electromotriz) que se opone al cambio de flujo magnético, según la ley de Lenz.

Cuando una corriente eléctrica fluye a través de un conductor, genera un campo magnético circular alrededor de él. Este campo magnético no solo se extiende al espacio exterior al conductor, sino que también penetra en el interior del conductor. La porción del flujo magnético que se encuentra dentro

del conductor es la responsable de la inductancia interna.

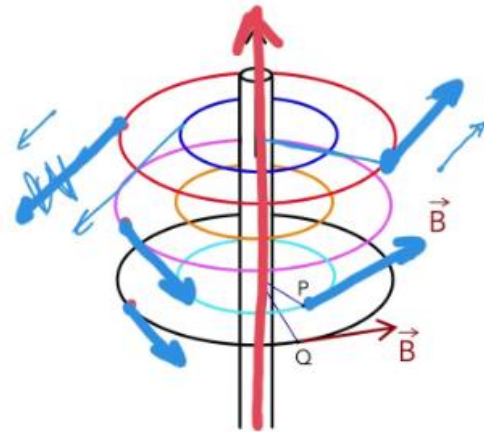


Figura 6: Flujo magnético interno en un conductor

Fuente propia

Factores que afectan la inductancia interna:

- **Radio del conductor:** A mayor radio, mayor es el área por la que circula el flujo magnético interno, y por tanto, mayor es la inductancia interna.
- **Permeabilidad del material:** La permeabilidad magnética del material del conductor afecta la intensidad del campo magnético y, por lo tanto, la inductancia interna.
- **Distribución de la corriente:** La distribución de la corriente dentro del conductor también influye en la inductancia interna. A altas frecuencias, el efecto piel hace que la corriente se concentre en la superficie del conductor, reduciendo la inductancia interna.



Cálculo de la inductancia interna

El cálculo exacto de la inductancia interna de un conductor puede ser complejo y depende de la distribución de la corriente dentro del conductor. Sin embargo, para conductores cilíndricos sólidos, se puede utilizar la siguiente expresión aproximada:

$$L_{int} = \left(\frac{\mu_0}{8\pi} \right) * l$$

Donde:

- **L_{int}:** Inductancia interna por unidad de longitud (H/m)
- **μ₀:** Permeabilidad magnética del vacío
- **l:** Longitud del conductor

Importancia de la inductancia interna

Aunque la inductancia interna suele ser menor que la inductancia externa, es importante considerarla en el cálculo de la inductancia total de una línea de transmisión, especialmente a altas frecuencias. La inductancia interna contribuye a la impedancia total de la línea, lo que afecta a la caída de tensión, a las pérdidas de energía y a la estabilidad del sistema eléctrico.

Efecto del efecto piel

El efecto piel es un fenómeno electromagnético que hace que la corriente alterna tienda a concentrarse en la superficie de un conductor a altas frecuencias. Este efecto reduce la sección efectiva del conductor por la que circula la

corriente, lo que disminuye la inductancia interna.

La inductancia interna es un componente importante de la inductancia total de una línea de transmisión. Aunque su valor puede ser relativamente pequeño comparado con la inductancia externa, su influencia en el comportamiento de la línea no debe ser subestimada. Comprender los factores que afectan la inductancia interna es esencial para el diseño y análisis de sistemas de potencia.

Capacitancia en Líneas de Transmisión

La capacitancia en una línea de transmisión es la propiedad eléctrica que permite almacenar energía en un campo eléctrico, debido a la diferencia de potencial existente entre los conductores. Esencialmente, los conductores de una línea de transmisión actúan como las placas de un capacitor, y el aire o el material aislante que los separa actúa como el dieléctrico.

¿Cómo se produce la capacitancia en líneas de transmisión?

- **Campo eléctrico:** Cuando se aplica una tensión a los conductores de una línea de transmisión, se crea un campo eléctrico entre ellos.
- **Acumulación de cargas:** Este campo eléctrico induce cargas eléctricas de signo opuesto en los conductores, lo que a su vez refuerza el campo eléctrico.
- **Almacenamiento de energía:** La energía se almacena en



este campo eléctrico, similar a como se almacena en un capacitor.



Figura 7: Campo eléctrico interno en un conductor

Fuente propia

Campo eléctrico en las proximidades de un conductor largo y recto

- **Exterior al conductor:** El campo eléctrico en un punto ubicado a una distancia r perpendicular a un conductor largo y recto cargado uniformemente con una densidad lineal de carga λ (carga por unidad de longitud) viene dado por la Ley de Gauss:

$$E = (\lambda / 2\pi\epsilon_0 r)$$

$$E = \left(\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \right)$$

Donde:

- **E:** Intensidad del campo eléctrico (V/m)
- **λ :** Densidad lineal de carga (C/m)

- **ϵ_0 :** Permitividad del vacío (F/m)
- **r:** Distancia perpendicular al conductor
- **Dirección del campo:** El campo eléctrico es radial y apunta hacia afuera del conductor si la carga es positiva, y hacia adentro si la carga es negativa.

Características del campo eléctrico

- **Simétrico:** El campo eléctrico es simétrico alrededor del conductor, es decir, tiene el mismo valor en todos los puntos a la misma distancia del conductor.
- **Dependencia de la distancia:** La intensidad del campo eléctrico es inversamente proporcional a la distancia al conductor.
- **Independencia de la forma de la sección transversal del conductor:** La fórmula anterior es válida para cualquier forma de sección transversal del conductor, siempre y cuando sea uniformemente cargada.

Factores que afectan la capacitancia

- **Distancia entre conductores:** A menor distancia, mayor capacitancia.
- **Radio de los conductores:** A mayor radio, mayor capacitancia.
- **Permitividad del medio:** La permitividad del material



aislante que separa los conductores afecta directamente la capacitancia.

- **Longitud de la línea:** La capacitancia total de una línea es directamente proporcional a su longitud.

Importancia de la capacitancia en líneas de transmisión

- **Corriente capacitiva:** La capacitancia de una línea de transmisión produce una corriente capacitiva que circula entre los conductores, especialmente a altas frecuencias.
- **Caída de tensión:** La corriente capacitiva causa una caída de tensión en la línea, lo que afecta la regulación de tensión.
- **Potencia reactiva:** La capacitancia consume potencia reactiva, que no realiza trabajo útil pero es necesaria para mantener el campo eléctrico.
- **Resonancia:** En ciertas condiciones, la inductancia y la capacitancia de una línea de transmisión pueden causar resonancia, lo que puede llevar a sobrevoltajes y otros problemas.
- **Efecto corona:** La capacitancia puede influir en el inicio y desarrollo del efecto corona, que es una descarga parcial del aire alrededor de los conductores.

Cálculo de la capacitancia

El cálculo exacto de la capacitancia de una línea de transmisión puede ser complejo y depende de la geometría de la línea y de las condiciones de operación. Sin embargo, existen fórmulas empíricas y métodos de cálculo numérico que permiten obtener una estimación razonable de la capacitancia.

Efectos de la capacitancia en el funcionamiento de las líneas de transmisión

- **Estabilidad del sistema:** La capacitancia influye en la estabilidad del sistema eléctrico, ya que puede causar oscilaciones y sobrevoltajes.
- **Compensación de la potencia reactiva:** Para mejorar el factor de potencia y reducir las pérdidas, se utilizan bancos de reactores para compensar la potencia reactiva capacitiva.
- **Diseño de protecciones:** Los sistemas de protección deben tener en cuenta los efectos de la capacitancia para evitar mal funcionamiento.

La capacitancia es un parámetro fundamental en el análisis y diseño de líneas de transmisión. Comprender su comportamiento y sus efectos permite a los ingenieros eléctricos diseñar sistemas de potencia más eficientes y confiables.



CUESTIONARIO CAPITULO 3

1. ¿Qué sucede con la resistencia eléctrica de un conductor si aumentamos su longitud?

- a) Disminuye
- b) Aumenta
- c) Permanece constante
- d) Depende del material

2. ¿Cuál de los siguientes factores NO afecta la resistencia eléctrica de un conductor?

- a) Longitud del conductor
- b) Área de la sección transversal
- c) Material del conductor
- d) Temperatura ambiente

3. ¿Cuál es la unidad de medida de la conductividad eléctrica?

- a) Ohm (Ω)
- b) Siemens (S)
- c) Volt (V)
- d) Ampere (A)

4. ¿Cuál es la principal razón por la que se utiliza alta tensión en las líneas de transmisión?

- a) Para reducir las pérdidas por efecto Joule.
- b) Para aumentar la capacidad de corriente.
- c) Para disminuir el tamaño de los conductores.
- d) Todas las anteriores.

5. ¿Cuál es la principal función de los aisladores en una línea de transmisión?

- a) Conectar los conductores a la torre.
- b) Aislar los conductores de la torre y del suelo.
- c) Proteger los conductores de la corrosión.
- d) Reducir las pérdidas por efecto corona.

6. ¿Qué es la transposición de conductores en una línea de transmisión trifásica?

- a) Un método para aumentar la capacidad de corriente de la línea.
- b) Una técnica para reducir las pérdidas por efecto corona.
- c) Un procedimiento para balancear las inductancias y capacitancias de las fases.
- d) Todas las anteriores.



EJERCICIOS CAPITULO 3

1. Un conductor de cobre de 50 metros de longitud y 2 mm^2 de sección transversal tiene una resistividad de $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. ¿Cuál es su resistencia?

- a) 0.43Ω
- b) 0.86Ω
- c) 1.72Ω
- d) 3.44Ω

2. Un alambre de aluminio de 2 metros de largo y 0.5 mm^2 de sección transversal se utiliza para conectar un componente electrónico. Si la resistividad del aluminio es de $2.82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, ¿cuál es la resistencia del alambre?

- a) 0.0226Ω
- b) 0.113Ω
- c) 0.226Ω
- d) 0.452Ω

3. Se necesita un conductor de nicromo para una resistencia eléctrica de 200Ω . Si la longitud del conductor es de 3 metros y su resistividad es de $1.10 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$, ¿cuál debe ser el área de su sección transversal?

- a) $8.25 \times 10^{-8} \text{ m}^2$
- b) $1.65 \times 10^{-7} \text{ m}^2$
- c) $3.30 \times 10^{-7} \text{ m}^2$
- d) $6.60 \times 10^{-7} \text{ m}^2$

4. Un cable de cobre de 100 metros de longitud tiene una resistencia de 1Ω . Si el área de su sección transversal es de 4 mm^2 , ¿cuál es la resistividad del cobre utilizado en este cable?

- a) $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
- b) $2.58 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
- c) $3.44 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
- d) $4.30 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

5. Dos conductores, uno de cobre y otro de plata, tienen la misma longitud y la misma área de sección transversal. Si la resistividad de la plata es menor que la del cobre, ¿cuál conductor tendrá mayor resistencia?

- a) El conductor de cobre.
- b) El conductor de plata.
- c) Ambos tendrán la misma resistencia.
- d) No se puede determinar sin más información.



04

ESTRUCTURAS DE BAJO, MEDIO Y ALTO VOLTAJE

4.1. Estructura de bajo y medio voltaje



Las líneas de transmisión son las venas que llevan la energía a todo el sistema eléctrico de potencia.

Las estructuras de bajo voltaje son elementos fundamentales en la distribución de energía eléctrica. Estas estructuras, generalmente de menor tamaño y complejidad que las de alta tensión, son las encargadas de llevar la energía eléctrica desde la subestación hasta los consumidores finales, como hogares, comercios e industrias.

Componentes de una Estructura de Bajo Voltaje

Una estructura de bajo voltaje está compuesta por diversos elementos, cada uno con una función específica:

- **Postes:** Son los soportes principales de la línea, fabricados en madera, hormigón o metal.
- **Aisladores:** Estos componentes evitan que la corriente eléctrica se escape hacia la estructura o hacia el suelo.
- **Conductores:** Generalmente de aluminio o cobre, son los elementos por donde circula la corriente eléctrica.
- **Herrajes:** Conjunto de elementos metálicos que permiten unir los diferentes componentes de la línea, como abrazaderas, grapas y tensores.
- **Protecciones:** Dispositivos como fusibles y seccionadores que protegen la línea y los equipos conectados en caso de sobrecorrientes o cortocircuitos.



Tipos de Estructuras de Bajo Voltaje

Las estructuras de bajo voltaje pueden clasificarse según diversos criterios:

- **Material del poste:** Madera, hormigón o metal.
- **Número de fases:** Monofásicas o trifásicas.
- **Tipo de instalación:** Aérea o subterránea.
- **Uso:** Rural o urbano.

Funciones de las Estructuras de Bajo Voltaje

- **Distribución de energía eléctrica:** Transportar la energía eléctrica desde la subestación hasta los consumidores finales.
- **Soporte de los conductores:** Mantener los conductores a una altura adecuada y separados del suelo.
- **Aislamiento:** Evitar contactos accidentales con los conductores y garantizar la seguridad de las personas y los bienes.
- **Protección:** Proteger la línea y los equipos conectados de sobrecargas, cortocircuitos y otros eventos adversos.

Consideraciones en el Diseño de Estructuras de Bajo Voltaje

- **Resistencia mecánica:** Las estructuras deben ser capaces de soportar las cargas a las que están sometidas, como el peso de los conductores, el viento y el hielo.

- **Aislamiento eléctrico:** Los aisladores deben garantizar una separación eléctrica adecuada entre los conductores y la estructura.
- **Seguridad:** Las estructuras deben diseñarse y construirse de manera que minimicen los riesgos de accidentes.
- **Estética:** En zonas urbanas, se debe considerar el impacto visual de las estructuras.

Estructuras de Bajo Voltaje

Las estructuras de bajo voltaje son elementos fundamentales en la distribución de energía eléctrica. Estas estructuras, generalmente de menor tamaño y complejidad que las de alta tensión, son las encargadas de llevar la energía eléctrica desde la subestación hasta los consumidores finales, como hogares, comercios e industrias.

Componentes Típicos de una Estructura de Bajo Voltaje

Una estructura de bajo voltaje está compuesta por diversos elementos, cada uno con una función específica:

- **Postes:** Son los soportes principales de la línea, fabricados en madera, hormigón o metal.



Figura 8: Poste de hormigón para bajo voltaje

Fuente propia

- **Aisladores:** Estos componentes evitan que la corriente eléctrica se escape hacia la estructura o hacia el suelo.



Figura 9: Aislador cerámico de bajo voltaje

Fuente propia

- **Conductores:** Generalmente de aluminio o cobre, son los elementos por donde circula la corriente eléctrica.

- **Herrajes:** Conjunto de elementos metálicos que permiten unir los diferentes componentes de la línea, como abrazaderas, grapas y tensores.
- **Transformadores:** Reducen la tensión de la línea a los valores adecuados para su utilización en los consumidores.
- **Protecciones:** Dispositivos como fusibles y seccionadores que protegen la línea y los equipos conectados en caso de sobrecorrientes o cortocircuitos.

Tipos de Estructuras de Bajo Voltaje

Las estructuras de bajo voltaje pueden clasificarse según diversos criterios:

- **Material del poste:** Madera, hormigón o metal.
- **Número de fases:** Monofásicas o trifásicas.
- **Tipo de instalación:** Aérea o subterránea.
- **Uso:** Rural o urbano.

Funciones de las Estructuras de Bajo Voltaje

- **Distribución de energía eléctrica:** Transportar la energía eléctrica desde la subestación hasta los consumidores finales.
- **Soporte de los conductores:** Mantener los conductores a



una altura adecuada y separados del suelo.

- **Aislamiento:** Evitar contactos accidentales con los conductores y garantizar la seguridad de las personas y los bienes.
- **Protección:** Proteger la línea y los equipos conectados de sobrecargas, cortocircuitos y otros eventos adversos.

Consideraciones en el Diseño de Estructuras de Bajo Voltaje

- **Resistencia mecánica:** Las estructuras deben ser capaces de soportar las cargas a las que están sometidas, como el peso de los conductores, el viento y el hielo.
- **Aislamiento eléctrico:** Los aisladores deben garantizar una separación eléctrica adecuada entre los conductores y la estructura.
- **Seguridad:** Las estructuras deben diseñarse y construirse de manera que minimicen los riesgos de accidentes.
- **Estética:** En zonas urbanas, se debe considerar el impacto visual de las estructuras.

Mantenimiento de las Estructuras de Bajo Voltaje

El mantenimiento regular de las estructuras de bajo voltaje es fundamental para garantizar la continuidad del servicio y la seguridad de las personas. Las tareas de mantenimiento incluyen:

- **Inspección visual:** Detección de daños en los postes, aisladores y conductores.
- **Limpieza de aisladores:** Eliminación de la suciedad y la contaminación que pueden reducir la eficiencia del aislamiento.
- **Reemplazo de componentes dañados:** Sustitución de los elementos que hayan superado su vida útil o que presenten daños.
- **Tensado de conductores:** Mantenimiento de la tensión adecuada de los conductores.

Estructuras de Medio Voltaje: Un Puente entre la Generación y la Distribución

Las estructuras de medio voltaje son la columna vertebral de los sistemas eléctricos, actuando como el enlace entre las subestaciones de generación y las redes de distribución de bajo voltaje que llegan a nuestros hogares y negocios. Estas estructuras, al operar a tensiones intermedias, permiten transportar grandes cantidades de energía eléctrica de manera eficiente y segura.

Componentes Clave de las Estructuras de Medio Voltaje

Una estructura típica de medio voltaje consta de:

- **Torres o postes:** Son las estructuras principales que soportan los conductores y los aíslan del suelo. Su diseño varía según la tensión, la



carga y las condiciones climáticas de la zona.

- **Conductores:** Generalmente de aluminio o acero galvanizado, transportan la corriente eléctrica. Su calibre y tipo dependen de la capacidad de carga de la línea.
- **Aisladores:** Estos componentes evitan que la corriente eléctrica se escape hacia la torre o hacia el suelo. Son fabricados en materiales cerámicos o polímeros de alta resistencia eléctrica.
- **Herrajes:** Conjunto de elementos metálicos que permiten unir los diferentes componentes de la línea, como abrazaderas, grapas y tensores.
- **Transformadores:** En algunos casos, se incluyen transformadores de distribución en las líneas de medio voltaje para alimentar cargas específicas o reducir la tensión antes de pasar a la red de bajo voltaje.

Tipos de Estructuras de Medio Voltaje

Las estructuras de medio voltaje pueden clasificarse según diversos criterios:

- **Material del poste:** Acero, hormigón o madera tratada.
- **Número de fases:** Monofásicas o trifásicas.
- **Tipo de instalación:** Aérea o subterránea.

- **Configuración de los conductores:** Horizontal, vertical o en V.

Funciones de las Estructuras de Medio Voltaje

- **Transporte de energía:** Transportar grandes cantidades de energía eléctrica desde las subestaciones hasta los centros de transformación.
- **Interconexión de sistemas:** Conectar diferentes subestaciones y redes eléctricas.
- **Alimentación de grandes consumidores:** Suministrar energía a industrias, centros comerciales y otras grandes cargas.

Consideraciones en el Diseño de Estructuras de Medio Voltaje

- **Resistencia mecánica:** Deben soportar cargas estáticas y dinámicas, como el peso de los conductores, el viento, el hielo y las cargas térmicas.
- **Aislamiento eléctrico:** Los aisladores deben garantizar una separación eléctrica adecuada entre los conductores y la estructura, incluso en condiciones climáticas adversas.
- **Seguridad:** Deben cumplir con las normas de seguridad para proteger a las personas y al medio ambiente.
- **Interferencias electromagnéticas:** Se deben tomar medidas para

minimizar las interferencias electromagnéticas con otros sistemas de comunicación.

Mantenimiento de las Estructuras de Medio Voltaje

El mantenimiento de las estructuras de medio voltaje es crucial para garantizar la continuidad del servicio y la seguridad. Las tareas de mantenimiento incluyen:

- **Inspecciones periódicas:** Visualización de la estructura para detectar daños o desgaste.
- **Limpieza de aisladores:** Eliminación de la suciedad y la contaminación que pueden reducir la eficiencia del aislamiento.
- **Reemplazo de componentes dañados:** Sustitución de los elementos que hayan superado su vida útil o que presenten daños.
- **Tensado de conductores:** Mantenimiento de la tensión adecuada de los conductores.

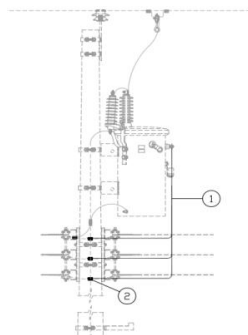


Figura10: Poste para transformador monofásico.

Fuente propia

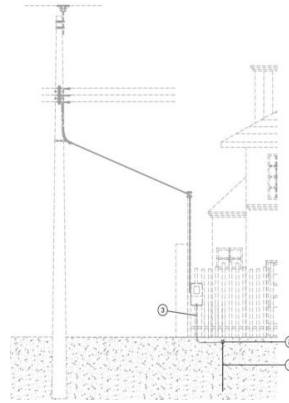


Figura11: Poste para acometida.

Fuente propia

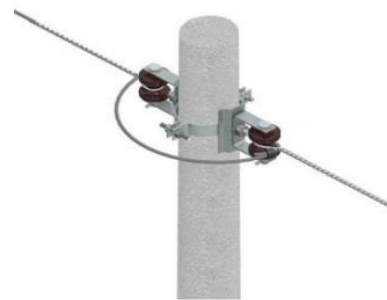


Figura12: Estructura aérea monofásica doble retención.

Fuente propia



Figura13: Estructura aérea monofásica pasante

Fuente propia



Figura14: Estructura aérea monofásica terminal

Fuente propia

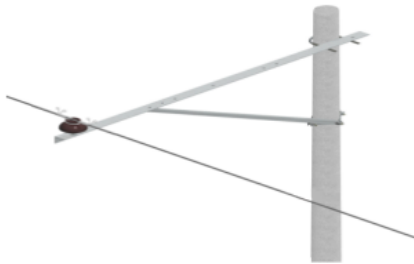


Figura15: Estructura aérea monofásica centrada doble retención

Fuente propia



Figura16: Estructura aérea monofásica centrada doble terminal

Fuente propia



Figura17: Estructura aérea monofásica centrada angular

Fuente propia

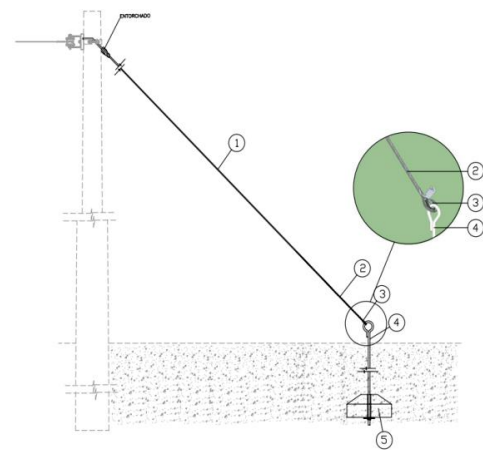


Figura18: Tensores

Fuente propia

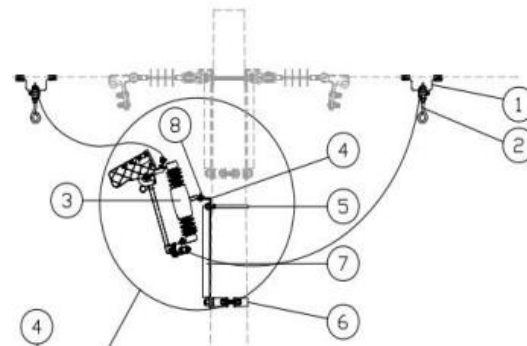


Figura19: Seccionador fusible unipolar.

Fuente propia

4.2. Estructura de Alto voltaje



Las líneas de transmisión son las venas que llevan la energía a todo el sistema eléctrico de potencia.

Las estructuras de alto voltaje son colosales obras de ingeniería diseñadas para transportar grandes cantidades de energía eléctrica a largas distancias. A diferencia de las líneas de bajo y medio voltaje, estas estructuras requieren de diseños especiales para soportar las altas tensiones y las intensas fuerzas electromagnéticas que se generan.

Componentes Clave de las Estructuras de Alto Voltaje

- **Torres:** Son las estructuras principales, generalmente de acero, que soportan los conductores y los aíslan del suelo. Su diseño es más robusto y complejo que el de las torres de media tensión.
- **Conductores:** Se utilizan conductores de gran calibre, a menudo trenzados, para reducir las pérdidas por efecto piel y corona. Los materiales más comunes son el aluminio y el acero galvanizado.
- **Aisladores:** Estos componentes deben soportar tensiones mucho más elevadas que los utilizados en líneas de menor voltaje. Se emplean aisladores de porcelana o polímero compuestos por varias piezas para distribuir el voltaje.
- **Herrajes:** Son elementos metálicos que conectan los conductores a los aisladores y a la torre, y que deben resistir

las altas tensiones y las fuerzas mecánicas.

- **Pararrayos:** Dispositivos que protegen la línea de las descargas atmosféricas.



Figura 20: Aisladores de Alto voltaje.

Fuente propia



Figura 21: Torre de Alto voltaje.

Fuente propia

Tipos de Estructuras de Alto Voltaje

- **Torres de celosía:** Son las más comunes y se construyen con perfiles de acero unidos

formando una estructura reticulada.

- **Torres autoportantes:** Tienen una mayor rigidez y estabilidad, y se utilizan en zonas de difícil acceso o con condiciones climáticas extremas.
- **Torres de suspensión:** Se utilizan para soportar los conductores de fase, mientras que las torres de anclaje soportan las tensiones mecánicas de los conductores.

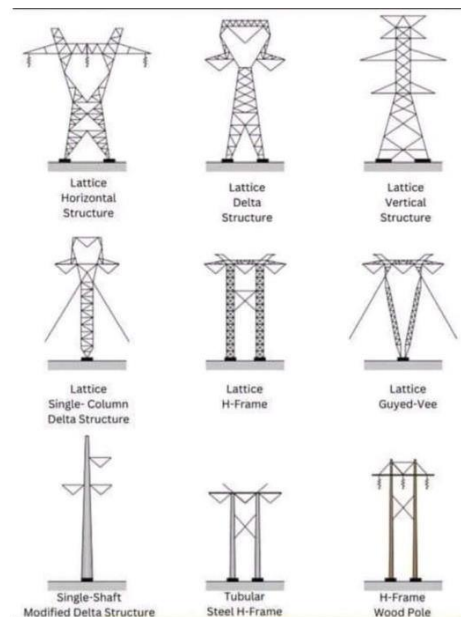


Figura 22: Tipos de estructuras de Alto voltaje.

Fuente propia

Funciones de las Estructuras de Alto Voltaje

- **Transporte de energía a larga distancia:** Las líneas de alta tensión permiten transportar grandes cantidades de energía desde las centrales eléctricas hasta los centros de

consumo, reduciendo las pérdidas en el camino.

- **Interconexión de sistemas eléctricos:** Permiten conectar diferentes sistemas eléctricos y garantizar un suministro de energía confiable.

Consideraciones en el Diseño de Estructuras de Alto Voltaje

- **Resistencia mecánica:** Deben soportar cargas estáticas y dinámicas, como el peso de los conductores, el viento, el hielo y las cargas térmicas.
- **Aislamiento eléctrico:** Los aisladores deben garantizar una separación eléctrica adecuada entre los conductores y la estructura, incluso en condiciones climáticas adversas y con niveles de contaminación elevados.
- **Seguridad:** Deben cumplir con las normas de seguridad para proteger a las personas y al medio ambiente.
- **Interferencias electromagnéticas:** Se deben tomar medidas para minimizar las interferencias electromagnéticas con otros sistemas de comunicación.

Mantenimiento de las Estructuras de Alto Voltaje

El mantenimiento de las estructuras de alto voltaje es fundamental para

garantizar la continuidad del servicio y la seguridad. Las tareas de mantenimiento incluyen:

- **Inspecciones periódicas:** Visualización de la estructura para detectar daños o desgaste.
- **Limpieza de aisladores:** Eliminación de la suciedad y la contaminación que pueden reducir la eficiencia del aislamiento.
- **Reemplazo de componentes dañados:** Sustitución de los elementos que hayan superado su vida útil o que presenten daños.
- **Tensado de conductores:** Mantenimiento de la tensión adecuada de los conductores.



Figura 23: Mantenimiento de Aisladores de Alto voltaje.

Fuente propia



CUESTIONARIO CAPITULO 3

1. ¿Cuál de los siguientes materiales se utiliza comúnmente para los postes de las líneas de distribución de bajo voltaje en zonas urbanas?

- a) Acero
- b) Hormigón
- c) Madera tratada
- d) Fibra de vidrio

2. ¿Cuál es la principal función de los aisladores en una línea de distribución?

- a) Conectar los conductores a los postes.
- b) Proteger los conductores de la corrosión.
- c) Aislar los conductores de la estructura y del suelo.
- d) Aumentar la capacidad de carga de la línea.

3. ¿Por qué se utilizan transformadores en las líneas de distribución de media tensión?

- a) Para aumentar la tensión.
- b) Para disminuir la tensión.
- c) Para regular la frecuencia de la corriente.
- d) Para proteger los equipos de sobrecorriente.

4. ¿Cuál de los siguientes factores influye en la elección del tipo de conductor a utilizar en una línea de distribución?

- a) La tensión de operación.
- b) La longitud de la línea.
- c) Las condiciones climáticas de la zona.

5. ¿Qué tipo de estructura se utiliza comúnmente para las líneas de transmisión de medio voltaje en zonas rurales?

- a) Postes de madera
- b) Torres de acero
- c) Postes de hormigón
- d) Conductores desnudos

6. ¿Cuál es la principal razón para realizar inspecciones periódicas en las líneas de distribución?

- a) Verificar la estética de la línea.
- b) Detectar posibles fallas y daños en la estructura.
- c) Ajustar la tensión de los conductores.
- d) Verificar la calidad de la energía suministrada.



BIBLIOGRAFÍA:

Tenedor, A. 2019 Montaje y mantenimiento de redes eléctricas subterráneas de alta tensión 978-958-771-894-2

Acosta, A. 2020 Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia 978-958-792-142-7.



INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO PELILEO

TOMO 2:

Máquinas Eléctricas CA

Ing. Fabricio Cherres Mg.



CONTENIDOS

01

CAPÍTULO UNO

PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LAS MAQUINAS CA -
Principios básicos de las máquinas CA.

02

CAPÍTULO DOS

TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

Transformador eléctrico

Pruebas Eléctricas al Transformador eléctrico

Pruebas al aceite dieléctrico

03

CAPÍTULO TRES

GENERADORES ELÉCTRICOS DE CA

Generador síncrono.

Potencia y Par en los generadores Síncronos

Operación en paralelo de Generadores síncronos

04

CAPÍTULO CUATRO

MOTORES ELÉCTRICOS DE CA

Motores de inducción

Potencia y Par en los motores de inducción

Arranques de motores asíncronos

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



01



PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LAS MAQUINAS CA



1.1. Principios básicos de las máquinas CA

Las máquinas de CA son dispositivos electromecánicos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica (motores) o viceversa (generadores). La corriente alterna, a diferencia de la continua, cambia de polaridad de forma periódica, lo que permite una transmisión de energía eléctrica más eficiente a largas distancias.

Principios de funcionamiento

El funcionamiento de las máquinas de CA se basa en dos fenómenos fundamentales del electromagnetismo:

1. **Inducción electromagnética:** Cuando un conductor eléctrico se mueve dentro de un campo magnético, o viceversa, se induce una fuerza electromotriz (fem) en el conductor. Esta fem produce una corriente eléctrica.
2. **Fuerza electromotriz:** Una corriente eléctrica que circula por un conductor produce un campo magnético a su alrededor.

Partes principales de una máquina de CA

- **Estator:** Parte fija de la máquina. Contiene las bobinas que generan el campo magnético.

- **Rotor:** Parte móvil de la máquina. Puede ser de tipo jaula de ardilla o devanado. Interactúa con el campo magnético del estator para producir el movimiento o la fuerza electromotriz.

Tipos de máquinas de CA

- **Máquinas síncronas:** El rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético rotatorio del estator. Se utilizan como generadores en centrales eléctricas y como motores en aplicaciones que requieren una velocidad constante.
- **Máquinas asíncronas o de inducción:** El rotor gira a una velocidad ligeramente inferior a la del campo magnético rotatorio del estator. Son las más utilizadas como motores en la industria.

Funcionamiento de un motor de inducción (ejemplo)

1. **Alimentación:** Se aplica una tensión alterna trifásica al estator, generando un campo magnético rotatorio.
2. **Inducción:** El campo magnético rotatorio induce corrientes eléctricas en las barras del rotor.



3. **Fuerza electromotriz:** Las corrientes inducidas en el rotor crean un campo magnético propio, que interactúa con el campo magnético del estator.
4. **Torque:** La interacción de los campos magnéticos produce un torque que hace girar el rotor.

Aplicaciones de las máquinas de CA

Las máquinas de CA tienen una amplia gama de aplicaciones, como:

- **Motores:** En la industria, en electrodomésticos, en vehículos eléctricos, etc.
- **Generadores:** En centrales eléctricas, en aerogeneradores, en motores de combustión interna, etc.
- **Transformadores:** Para elevar o reducir la tensión de la corriente alterna.

Espira giratoria

Imagina un anillo de alambre conductor que gira dentro de un campo magnético. Ese anillo es nuestra espira. Al girar, la espira corta las líneas de fuerza del campo magnético, lo que induce una fuerza electromotriz (fem) o voltaje en ella.

Voltaje inducido

- **Ley de Faraday:** Esta ley establece que el voltaje inducido en un circuito es igual a la tasa de cambio del flujo magnético a través del circuito.

- **Flujo magnético:** Es la cantidad de campo magnético que atraviesa una superficie. En el caso de la espira, el flujo magnético cambia constantemente a medida que gira, ya que el ángulo entre el vector del área de la espira y el vector del campo magnético varía.
- **Variación del flujo magnético:** Al cambiar el flujo magnético, se induce una corriente eléctrica en la espira que trata de oponerse a ese cambio (Ley de Lenz). Esta corriente eléctrica genera un campo magnético propio que se opone al campo magnético original.

La expresión matemática para el voltaje inducido en una espira giratoria es:

$$\varepsilon = N * B * A * \omega * \sin(\omega t)$$

$$\varepsilon = N * \beta * A * \omega * \sin(\omega t)$$

Donde:

- **N:** El número de vueltas de la espira aumenta el voltaje inducido, ya que cada vuelta corta las líneas de fuerza del campo magnético.
- **B:** Un campo magnético más intenso induce un voltaje mayor.
- **A:** Una espira de mayor área corta más líneas de fuerza, lo que aumenta el voltaje inducido.
- **ω :** Una velocidad de giro mayor implica un cambio más rápido del flujo

magnético y, por lo tanto, un voltaje inducido mayor.

- **$\sin(\omega t)$:** Esta función indica que el voltaje inducido es una onda senoidal, es decir, varía de forma sinusoidal con el tiempo.

Este principio es fundamental en el funcionamiento de:

- **Generadores eléctricos:** Transforman energía mecánica en energía eléctrica. Una turbina hace girar una bobina dentro de un campo magnético, generando así el voltaje que se distribuye a través de la red eléctrica.
- **Motores eléctricos:** Transforman energía eléctrica en energía mecánica. Al aplicar una corriente alterna a una bobina, se crea un campo magnético rotatorio que hace girar el rotor.
- **Transformadores:** Permiten aumentar o disminuir el voltaje de la corriente alterna.

El voltaje inducido en una espira giratoria es el resultado de la interacción entre un campo magnético y una corriente eléctrica. Este fenómeno es la base de la generación y utilización de la energía eléctrica en la sociedad moderna.

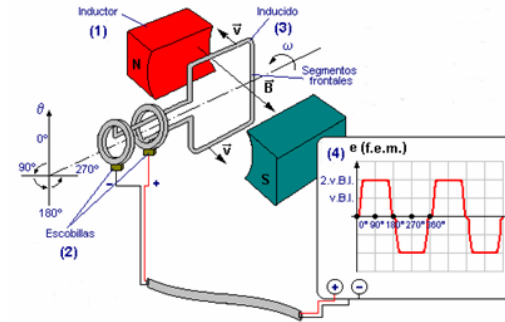


Figura1: Voltaje inducido en una espira giratoria en medio de un campo magnético. Fuente: (Granero, 2019)

Par Inducido

El par inducido en una espira con corriente es un concepto fundamental en el funcionamiento de los motores eléctricos. Este par es la fuerza rotatoria que hace girar al rotor de un motor y que se genera gracias a la interacción entre un campo magnético y una corriente eléctrica que circula por la espira.

Imagina una espira rectangular por la que circula una corriente eléctrica. Si colocamos esta espira dentro de un campo magnético uniforme, cada lado de la espira experimentará una fuerza magnética debido a la interacción entre la corriente eléctrica y el campo magnético. Estas fuerzas, al tener diferentes puntos de aplicación y direcciones, generan un par de fuerzas, es decir, una fuerza rotatoria que tiende a hacer girar la espira.

1. **Fuerza de Lorentz:** Cada porción de conductor por la que circula una corriente eléctrica dentro de un campo magnético experimenta una fuerza perpendicular tanto al campo magnético como a la dirección de la corriente. Esta

fuerza se conoce como fuerza de Lorentz.

2. **Par de fuerzas:** Al aplicar la fuerza de Lorentz a cada lado de la espira, se generan dos pares de fuerzas iguales y opuestas, pero que no tienen la misma línea de acción. Esta diferencia en las líneas de acción genera un par neto que tiende a hacer girar la espira.
3. **Sentido del par:** El sentido del par inducido depende de la dirección de la corriente y del sentido del campo magnético. Se puede determinar utilizando la regla de la mano derecha.

El cálculo del par inducido puede ser complejo y depende de la geometría de la espira, la distribución del campo magnético y la intensidad de la corriente. Sin embargo, en general, el par inducido es proporcional al producto del campo magnético, el área de la espira y la corriente que circula por ella.

¿Cuál es la importancia del par inducido?

El par inducido es fundamental en el funcionamiento de los motores eléctricos. Gracias a este par, los motores pueden convertir energía eléctrica en energía mecánica, lo que los hace indispensables en una gran variedad de aplicaciones, desde la industria hasta los electrodomésticos.

Aplicaciones del par inducido:

- **Motores eléctricos:** El par inducido es la fuerza que

hace girar el rotor de un motor eléctrico.

- **Actuadores:** Se utilizan para generar movimiento en sistemas de control.
- **Instrumentos de medición:** Se utilizan para medir corrientes y campos magnéticos.

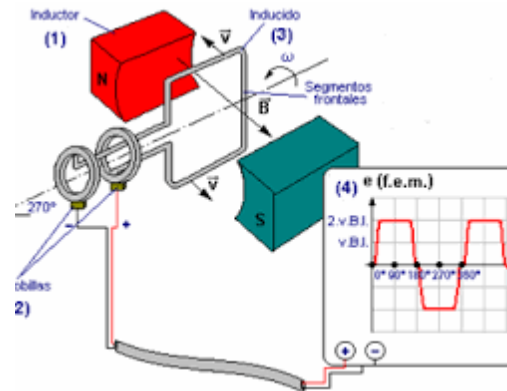


Figura2: Par inducido en una espira que porta una corriente en medio de un campo magnético. Fuente: (Granero, 2019)

El par inducido es la fuerza rotatoria que se genera cuando una espira por la que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de un campo magnético. Este par es fundamental para el funcionamiento de los motores eléctricos y tiene una amplia gama de aplicaciones en la industria y la vida cotidiana.

Campo magnético giratorio

Un campo magnético giratorio es un campo magnético que rota a una velocidad constante y se genera a partir de una corriente eléctrica alterna trifásica. Imagina un campo magnético que no está estático, sino que "da vueltas" en el espacio. Este es el concepto fundamental detrás del campo magnético giratorio.

La generación de un campo magnético giratorio se basa en la aplicación de una corriente alterna trifásica a un conjunto de bobinas dispuestas en el espacio de manera específica. Cada fase de la corriente alterna trifásica genera un campo magnético que oscila sinusoidalmente en el tiempo. Sin embargo, gracias a la diferencia de fase entre las tres corrientes, estos campos magnéticos individuales se combinan para formar un campo magnético resultante que rota en el espacio.

El campo magnético giratorio es esencial para el funcionamiento de los motores de corriente alterna. Cuando un rotor (parte móvil) se coloca dentro de un campo magnético giratorio, experimenta fuerzas electromagnéticas que lo obligan a girar para seguir al campo magnético rotante. Esta es la base de funcionamiento de la mayoría de los motores eléctricos que utilizamos en la vida cotidiana.

Visualización del campo magnético giratorio

Para entender mejor este concepto, imagina tres bobinas dispuestas en el espacio formando un ángulo de 120 grados entre ellas. Si aplicamos una corriente alterna trifásica a estas bobinas, cada una generará un campo magnético pulsante. Sin embargo, debido a la diferencia de fase entre las corrientes, estos campos magnéticos se sumarán vectorialmente en cada instante de tiempo, generando un campo magnético resultante que rota en el espacio.

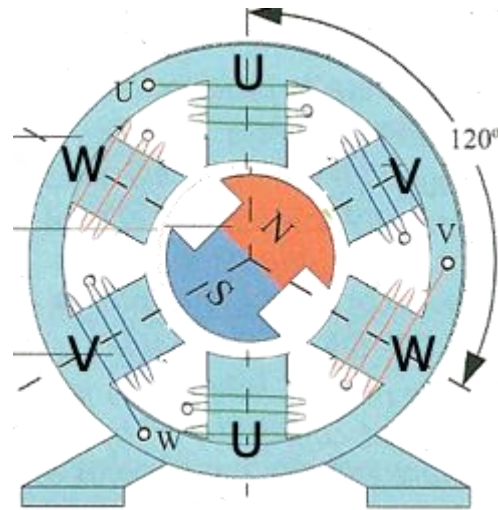


Figura3: Campo magnético giratorio con un rotor de imán permanente. (Geogebra, 2020)

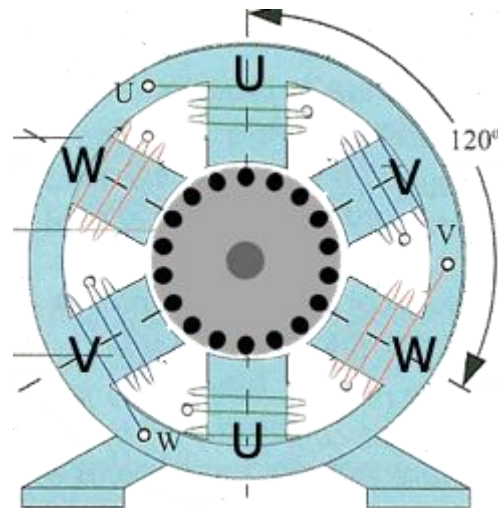


Figura4: Campo magnético giratorio con un rotor bobinado. (Geogebra, 2020)

Flujo de Potencia y Pérdidas en una Máquina de Corriente Alterna

En una máquina eléctrica de corriente alterna, como un motor o un generador, la energía eléctrica se convierte en energía mecánica o viceversa. Este proceso de conversión no es totalmente eficiente, ya que siempre existen pérdidas de energía en forma de calor. El análisis del flujo de potencia y las pérdidas en estas máquinas es

fundamental para comprender su funcionamiento y optimizar su desempeño.

En una máquina eléctrica de corriente alterna (CA), la energía eléctrica se transforma en energía mecánica (en motores) o viceversa (en generadores). Este proceso de conversión no es 100% eficiente, ya que siempre existen pérdidas de energía en forma de calor.

Flujo de Potencia

El flujo de potencia en una máquina de CA se refiere al camino que sigue la energía eléctrica desde la fuente hasta la carga (o viceversa). Se puede representar mediante un diagrama de flujo de potencia.

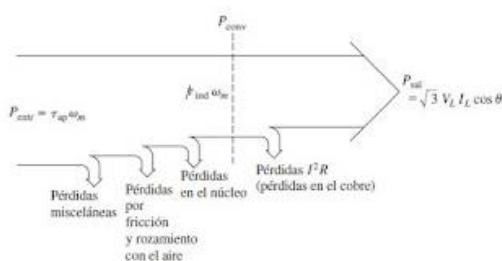


Figura4: Diagrama de flujo de potencia simplificado. Fuente: (Geogebra, 2020)

- **Pérdidas mecánicas:** Incluyen las pérdidas por fricción y ventilación.
 - **Pérdidas adicionales:** Otras pérdidas menores, como las pérdidas dieléctricas.
 - **Potencia mecánica de salida:** Es la potencia mecánica útil entregada por la máquina.
- ### Pérdidas en una Máquina de CA
- Las pérdidas en una máquina de CA reducen su eficiencia y generan calor. Las principales pérdidas son:
- **Pérdidas en el cobre:**
 - Se producen debido a la resistencia eléctrica de los devanados.
 - Son proporcionales al cuadrado de la corriente que circula por los devanados.
 - Se pueden reducir utilizando conductores de mayor sección o materiales con menor resistividad.
 - **Pérdidas en el hierro:**
 - Se generan por las corrientes inducidas en el núcleo magnético de la máquina.
 - Se dividen en pérdidas por histéresis y pérdidas por corrientes parásitas.
 - Se pueden reducir utilizando materiales magnéticos de alta calidad y laminando el núcleo.



- **Pérdidas mecánicas:**
 - Incluyen las pérdidas por fricción en los cojinetes y las pérdidas por ventilación.
 - Se pueden reducir utilizando lubricantes de alta calidad y optimizando el diseño mecánico de la máquina.
- **Pérdidas adicionales:**
 - Otras pérdidas menores, como las pérdidas dieléctricas en los aislamientos.

Factores que afectan las pérdidas

- **Carga:** Las pérdidas aumentan con la carga de la máquina.
- **Frecuencia:** Las pérdidas en el hierro dependen de la frecuencia de la alimentación.
- **Temperatura:** Las pérdidas aumentan con la temperatura.
- **Material:** La calidad de los materiales utilizados en la construcción de la máquina influye en las pérdidas.
- **Diseño:** El diseño de la máquina, como el tipo de devanado y la forma del núcleo, afecta las pérdidas.

El análisis de las pérdidas en una máquina de CA es fundamental para:

- **Evaluar la eficiencia:** Permite calcular la eficiencia de la

máquina, que es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada.

- **Optimizar el diseño:** Ayuda a identificar las principales fuentes de pérdidas y a proponer mejoras en el diseño de la máquina para reducirlas.
- **Seleccionar la máquina adecuada:** Permite seleccionar la máquina más adecuada para una aplicación específica, teniendo en cuenta los requisitos de eficiencia y las condiciones de operación.
- **Prevenir el sobrecalentamiento:** El conocimiento de las pérdidas permite evaluar el riesgo de sobrecalentamiento de la máquina y tomar las medidas necesarias para evitarlo.

El flujo de potencia y las pérdidas en una máquina de CA son conceptos clave para comprender su funcionamiento y optimizar su desempeño. Al minimizar las pérdidas, se puede aumentar la eficiencia de la máquina y reducir los costos de operación.

Eficiencia de una Máquina de CA

La eficiencia de una máquina de CA se define como la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada:

$$ef = \frac{\text{Potencia mecánica de salida}}{\text{Potencia eléctrica de entrada}}$$

La eficiencia nunca es igual a 1 debido a las pérdidas.



CUESTIONARIO CAPITULO 1

5. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de las máquinas de corriente alterna (CA)?
 - a) Ley de Faraday de la inducción electromagnética
 - b) Ley de Coulomb
 - c) Ley de Ohm
 - d) Efecto fotoeléctrico
6. ¿Qué tipo de campo magnético es necesario para el funcionamiento de una máquina de CA?
 - a) Campo magnético estático
 - b) Campo magnético rotativo
 - c) Campo magnético pulsante
 - d) Campo magnético unidireccional
7. ¿Qué parte de una máquina síncrona gira a la misma velocidad que el campo magnético del estator?
 - a) El rotor
 - b) El estator
 - c) Los devanados secundarios
 - d) El regulador de voltaje
8. ¿Cómo se llama la velocidad a la que el campo magnético gira en una máquina de CA?
 - a) Velocidad terminal
 - b) Velocidad sincrónica
 - c) Velocidad nominal
 - d) Velocidad diferencial
9. ¿Cuál de las siguientes máquinas eléctricas funciona principalmente con inducción electromagnética entre el rotor y el estator?
 - a) Motor síncrono
 - b) Motor de reluctancia
 - c) Motor de inducción
 - d) Motor universal



10. ¿Qué componente en un motor de inducción determina la velocidad del campo magnético rotatorio?
 - a) La corriente en el rotor
 - b) El número de polos del estator
 - c) La resistencia del rotor
 - d) La temperatura del núcleo
11. En una máquina de CA, el "deslizamiento" se refiere a:
 - a) La diferencia de velocidad entre el rotor y el estator
 - b) La pérdida de energía en forma de calor
 - c) La resistencia interna del rotor
 - d) El cambio de fase de la corriente alterna
12. ¿Qué sucede si el deslizamiento en un motor de inducción es igual a cero?
 - a) El rotor gira más rápido que el campo magnético
 - b) El rotor gira exactamente a la velocidad del campo magnético
 - c) El rotor está parado
 - d) El motor se sobrecalienta
13. ¿Qué tipo de generador produce corriente alterna?
 - a) Generador de corriente continua
 - b) Generador de inducción
 - c) Alternador
 - d) Dinamo
14. ¿Cuál es la función del devanado del estator en un motor de CA?
 - a) Generar corriente continua
 - b) Crear un campo magnético giratorio
 - c) Conmutar la corriente
 - d) Aumentar la resistencia del rotor



EJERCICIOS CAPITULO 1

Ejercicio 1.

Cálculo del voltaje inducido por un campo magnético cambiante

Una espira circular de radio 0.1 m está situada en un campo magnético que aumenta uniformemente de 0 a 0.5 T en 2 segundos. Calcula el voltaje inducido en la espira.

Ejercicio 2.

Una espira rectangular de 0.2 m por 0.1 m gira a una velocidad angular de 60 rad/s en un campo magnético uniforme de 0.3 T.

- a. ¿Cuál es el voltaje máximo inducido en la espira?

Ejercicio 3.

Una espira cuadrada de 0.05 m de lado está situada en un campo magnético de 0.2 T perpendicular a la superficie de la espira. El campo magnético disminuye a 0.1 T en 1 segundo.

- a. ¿Cuál es el voltaje inducido en la espira durante este intervalo de tiempo?

Ejercicio 4

Una espira circular de radio 0.15 m gira a 1800 rpm en un campo magnético uniforme de 0.4 T.

- a. Calcula el voltaje eficaz inducido en la espira.

Ejercicio 5

Un campo magnético varía según la ley $B(t)=0.3\sin(100t)$ T. Una espira circular de radio 0.05 m se encuentra en este campo con el plano de la espira perpendicular a las líneas de campo.

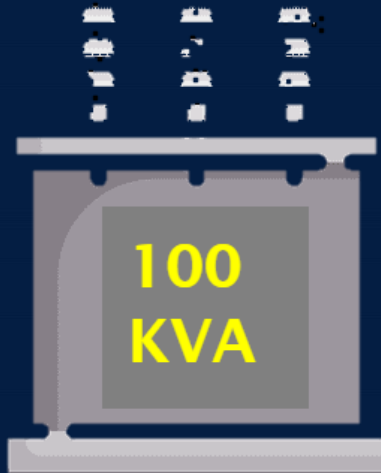
- d. Calcula el voltaje inducido en la espira en función del tiempo.



02

TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

2.1. Transformador ideal y real



Un **transformador** es un dispositivo electromagnético que se utiliza para cambiar los niveles de tensión en sistemas de corriente alterna (CA), manteniendo la misma frecuencia. Su funcionamiento se basa en el principio de **inducción electromagnética**: cuando una corriente alterna fluye a través de una bobina (llamada devanado primario), genera un campo magnético que induce un voltaje en otra bobina (llamada devanado secundario), cercana a la primera.

Transformador Eléctrico Ideal

Un **transformador ideal** es un modelo teórico que se usa para simplificar el análisis del comportamiento de los transformadores. Las características que definen un transformador ideal son:

1. Sin pérdidas:

- Se asume que no hay pérdidas de energía en forma de calor ni en el núcleo ni en los devanados. Esto significa que **toda la potencia eléctrica suministrada al primario** se transfiere de manera eficiente al devanado secundario.

2. Núcleo magnético perfecto:

- El núcleo del transformador ideal tiene una **permeabilidad magnética infinita**, lo que implica que no hay pérdidas por histéresis ni corrientes parásitas (corrientes de Foucault) en el núcleo. Todo el flujo magnético generado en el devanado primario se transfiere al secundario.

3. Relación de transformación perfecta:

- La relación entre los voltajes del primario **V_p** y el secundario **V_s** está dada por la relación de vueltas (**N_p** y **N_s**)



entre ambos devanados:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

- o Esto implica que, si tienes más vueltas en el devanado primario que en el secundario, el transformador reduce la tensión (transformador reductor), y si hay más vueltas en el secundario, la tensión aumenta (transformador elevador).

4. Impedancia despreciable:

- o Los devanados primario y secundario del transformador ideal no tienen **resistencia eléctrica** ni reactancia. Es decir, no hay caída de tensión por efectos resistivos o inductivos en los cables.

5. Corriente y potencia:

- o En un transformador ideal, la relación entre las corrientes del primario (**I_p**) y del secundario (**I_s**) también está relacionada con las vueltas de los devanados:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

- o En este caso, la potencia entregada

por el primario es igual a la potencia recibida por el secundario, es decir:

Transformador Eléctrico Real

A diferencia del transformador ideal, un **transformador real** tiene ciertas **imperfecciones** y **pérdidas** que lo hacen menos eficiente. Estas pérdidas están asociadas con el núcleo, los devanados y el entorno.

1. Pérdidas en los devanados:

- o Los devanados primario y secundario tienen una **resistencia eléctrica** no nula (R_{pR_pRp} y R_{sR_sRs}). Esto genera pérdidas de energía en forma de **calor**, conocidas como **pérdidas por efecto Joule**.

$$P_{Joule} = I^2 * R$$

2. Pérdidas en el núcleo:

- o El núcleo magnético de un transformador real no es perfecto y tiene dos tipos principales de pérdidas:
 - **Pérdidas por histéresis magnética:** Estas pérdidas se deben a que el núcleo se magnetiza y desmagnetiza continuamente con la corriente alterna. El ciclo de magnetización genera calor.
 - **Pérdidas por corrientes parásitas o de Foucault:** Se



generan corrientes circulares dentro del núcleo debido a la variación del campo magnético. Estas corrientes crean calor en el núcleo, lo que causa pérdidas adicionales.

Ambas pérdidas dependen de la **frecuencia de la corriente alterna** y de las propiedades del material del núcleo.

3. Flujo magnético no ideal:

- En el transformador real, no todo el flujo magnético generado en el devanado primario llega al secundario. Parte de este flujo se "escapa" o se cierra por caminos diferentes al núcleo. A esto se le llama **flujo disperso**. Debido a esto, no se induce todo el voltaje esperado en el secundario.
- Para modelar este efecto, se suele incluir una **inductancia de dispersión** (L_{pL_p} en el primario y L_{sL_s} en el secundario) en el análisis del transformador.

4. Relación de transformación imperfecta:

- La relación de voltaje y corriente entre los devanados no es exactamente la misma que en el caso ideal debido a las **caídas de tensión en las resistencias e inductancias de los**

devanados. Por tanto, la relación entre

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

así como entre

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

se ve ligeramente afectada.

5. Eficiencia menor a 100%:

- Debido a las pérdidas de potencia mencionadas (pérdidas en los devanados, en el núcleo y por flujo disperso), la eficiencia de un transformador real nunca es del 100%. Sin embargo, los transformadores bien diseñados pueden tener eficiencias muy altas, superiores al 95%.

6. Aumento de temperatura:

- Las pérdidas de energía en forma de calor aumentan la temperatura del transformador. Por eso, los transformadores reales suelen estar diseñados con **sistemas de refrigeración** (como ventilación natural, aceite refrigerante, o radiadores) para evitar el sobrecalentamiento.

2.2. Pruebas eléctricas al transformador



Las **pruebas eléctricas a los transformadores** son una serie de ensayos que se realizan para evaluar su funcionamiento, eficiencia, seguridad, y para detectar posibles fallas antes de ponerlos en operación. Estas pruebas se realizan tanto en **fábrica** (durante la construcción o fabricación) como en **campo** (en la instalación o mantenimiento), y son fundamentales para garantizar que los transformadores operen de manera segura y eficiente a lo largo de su vida útil.

1. Prueba de Resistencia de Aislamiento.

Esta prueba se realiza para medir la **resistencia de aislamiento** entre los devanados del transformador y entre los devanados y la carcasa o tierra. La calidad del aislamiento es crucial para evitar cortocircuitos y fallos eléctricos.

Procedimiento:

- Se utiliza un **megger** (un medidor de resistencia de aislamiento) para aplicar un voltaje alto (normalmente de 500V a 5000V) a los devanados, y se mide la resistencia del aislamiento.
- Se realiza entre:
 - Devanado primario y tierra.
 - Devanado secundario y tierra.
 - Entre devanados primario y secundario.

Valores esperados:

- Una buena resistencia de aislamiento debe estar en el rango de **megaohmios ($M\Omega$)**. Valores bajos indican que el aislamiento está deteriorado o presenta humedad.

2. Prueba de Relación de Transformación (TTR)

Esta prueba mide la **relación de transformación** entre el devanado primario y el devanado secundario. La relación entre las tensiones en los devanados debe coincidir con la



relación de vueltas del transformador.

Procedimiento:

- Se aplica un voltaje conocido a uno de los devanados (generalmente el primario), y se mide el voltaje inducido en el secundario.
- La relación entre los voltajes medidos se compara con la relación teórica (proporción de vueltas).

Fórmula:

$$RT = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Valores esperados:

- La relación debe coincidir con la especificación del fabricante, con un **error máximo permitido del 0.5%**. Si hay una desviación mayor, puede indicar problemas en los devanados, como cortocircuitos parciales.

3. Prueba de Resistencia de los Devanados (Prueba de Continuidad)

Esta prueba mide la **resistencia de los devanados** del transformador para detectar posibles irregularidades en el bobinado, como conexiones sueltas o cortocircuitos internos.

Procedimiento:

- Se conecta un **ohmímetro** o un puente de Kelvin a los devanados (primario y secundario) y se mide la resistencia en cada fase del devanado.

- Esta prueba se realiza en frío, para evitar errores de lectura por aumento de temperatura.

Valores esperados:

- Las resistencias deben ser muy bajas, normalmente en el rango de **miliohmios (mΩ)**, y similares entre fases. Una variación significativa puede indicar un problema de diseño o fallas en el devanado.

4. Prueba de Impedancia de Cortocircuito

Esta prueba mide la **impedancia del transformador** cuando los devanados secundarios están en cortocircuito. Ayuda a identificar problemas como deformación de los devanados o daños mecánicos internos que puedan afectar el rendimiento del transformador.

Procedimiento:

- Se cortocircuita el devanado secundario del transformador y se aplica una pequeña corriente alterna en el primario. El voltaje aplicado se ajusta para que circule una corriente nominal por los devanados.
- Se mide el voltaje requerido para hacer circular la corriente nominal, y se calcula la impedancia del transformador.

Fórmula:

$$Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{nominal}}$$

**Valores esperados:**

- Los valores de impedancia deben coincidir con las especificaciones del fabricante. Desviaciones importantes pueden indicar deformaciones en los devanados debido a esfuerzos mecánicos o fallas internas.

5. Prueba de Tensión Aplicada o Prueba de Alta Tensión (Hipot)

La **prueba de alta tensión** se realiza para verificar la integridad del aislamiento de los devanados y asegurarse de que puede soportar las tensiones a las que estará expuesto en operación.

Procedimiento:

- Se aplica una tensión de prueba mucho mayor que la tensión nominal del transformador, generalmente de 2 a 3 veces la tensión nominal, durante un tiempo determinado (normalmente 1 minuto).
- La prueba se realiza entre los devanados primario y secundario, y entre los devanados y tierra.

Valores esperados:

- El transformador no debe presentar descargas disruptivas ni fallas durante la prueba. Si se produce una ruptura de aislamiento, el transformador no es apto para operar.

6. Prueba de Pérdidas en Vacío (Prueba de Corriente de Excitación)

Esta prueba mide las **pérdidas en el núcleo magnético** del transformador (pérdidas en vacío), que incluyen las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas, cuando el transformador está energizado, pero no tiene carga conectada.

Procedimiento:

- Se aplica la tensión nominal al devanado primario, mientras que el devanado secundario está en circuito abierto (sin carga).
- Se mide la corriente de excitación (corriente en vacío) y las pérdidas en vacío (potencia en vatios).

Valores esperados:

- Las pérdidas en vacío deben ser bajas, generalmente unos pocos porcentajes de la potencia nominal del transformador. Si son excesivas, puede indicar problemas en el núcleo magnético (como saturación).

7. Prueba de Pérdidas con Carga

Esta prueba evalúa las **pérdidas en los devanados** (pérdidas por efecto Joule o pérdidas resistivas) cuando el transformador está bajo carga. También se mide la eficiencia del transformador bajo condiciones de carga.

**Procedimiento:**

- Se aplica una carga nominal al transformador y se mide la potencia de entrada y salida.
- Las pérdidas se calculan como la diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida.

Fórmula:

$$P_{\text{pérdidas}} = P_{\text{entrada}} - P_{\text{salida}}$$

Valores esperados:

- Las pérdidas con carga deben estar dentro de los valores especificados por el fabricante. Altas pérdidas pueden ser indicativas de problemas en los devanados o conexiones defectuosas.

8. Prueba de Frecuencia Resonante

Esta prueba se utiliza para evaluar la **resonancia del núcleo** y los devanados del transformador, y verificar que no haya resonancias no deseadas que puedan afectar su funcionamiento.

Procedimiento:

- Se aplica una frecuencia variable a los devanados del transformador y se mide la respuesta en frecuencia.
- Se identifica la frecuencia de resonancia del sistema, que puede afectar la estabilidad y el rendimiento del transformador.

Valores esperados:

- La resonancia debe estar fuera del rango de

frecuencias normales de operación para evitar que ocurra durante la operación normal del sistema eléctrico.

9. Prueba de Fuga de Corriente o Prueba de Corrientes Parásitas

Esta prueba mide las **corrientes de fuga** que pueden generarse debido a defectos en el aislamiento o fallas mecánicas dentro del transformador.

Procedimiento:

- Se energiza el transformador y se mide la corriente de fuga en los devanados o la carcasa.
- Se utiliza un **amperímetro de fuga** para medir las pequeñas corrientes que pueden estar presentes en la estructura o la carcasa.

Valores esperados:

- Las corrientes de fuga deben ser muy pequeñas o prácticamente nulas. Corrientes significativas pueden indicar problemas en el aislamiento o defectos internos.

Estas pruebas son esenciales para garantizar la **seguridad, eficiencia y durabilidad** de los transformadores en servicio. Cada prueba está diseñada para identificar un tipo específico de falla o degradación, lo que permite la **mantenimiento preventivo** y evita fallos catastróficos.

2.3. Pruebas al aceite dieléctrico



Las **pruebas al aceite dieléctrico** de un transformador son esenciales para evaluar la **calidad** y el **estado del aislamiento** que proporciona el aceite en el interior del transformador. El aceite dieléctrico cumple dos funciones principales: actúa como un **medio aislante** y también como un **refrigerante** para disipar el calor generado durante la operación. Con el tiempo, el aceite puede degradarse debido a factores como la temperatura, humedad, presencia de gases, partículas sólidas o contaminación, lo que puede afectar el

1. Prueba de Rigidez Dieléctrica (BDV - Breakdown Voltage)

La **prueba de rigidez dieléctrica** mide la capacidad del aceite para resistir altos voltajes sin romperse y generar un arco eléctrico. Es una de las pruebas más importantes para determinar si el aceite todavía proporciona un buen aislamiento.

Procedimiento:

- Se coloca una muestra de aceite en una célula de prueba con dos electrodos separados por una distancia estándar (normalmente 2.5 mm).
- Se incrementa gradualmente la tensión entre los electrodos hasta que se produce una ruptura dieléctrica (salto de arco).
- Se registra el voltaje en el momento en que ocurre la ruptura. Este es el **voltaje de ruptura** o **BDV**.

Valores esperados:

- El voltaje de ruptura típico para un aceite nuevo y limpio está entre **30 kV y 70 kV**.
- Un valor bajo indica la presencia de contaminantes, como humedad o partículas en el aceite, lo que reduce su capacidad de aislamiento.



Figura 5: Ensayo de rigidez dieléctrica

2. Prueba de Contenido de Agua (Prueba de Karl Fischer)

El agua en el aceite dieléctrico reduce significativamente su capacidad aislante. La **prueba de Karl Fischer** se utiliza para medir el contenido de agua en el aceite de manera precisa.

Procedimiento:

- Se toma una muestra del aceite y se somete a la titulación por Karl Fischer, un método químico que mide el contenido de agua.
- El agua se mide en **partes por millón (ppm)**.

Valores esperados:

- El contenido de agua aceptable debe estar por debajo de **30 ppm** para aceites nuevos o en buen estado.
- Si los niveles de agua son altos, el aceite puede perder sus propiedades dieléctricas y facilitar la formación de descargas parciales o arcos eléctricos.



Figura 6: Medidor de humedad.

3. Prueba de Factor de Pérdidas Dieléctricas (Tangente Delta o Dissipation Factor)

Esta prueba mide las pérdidas dieléctricas en el aceite. Indica la capacidad del aceite para actuar como aislante y cuánto de la energía eléctrica se pierde en forma de calor. Es un indicador de la degradación del aceite debido a la presencia de contaminantes, humedad o envejecimiento.

Procedimiento:

- Se aplica un voltaje alterno a la muestra de aceite y se mide el ángulo de desfase entre la corriente aplicada y la corriente medida.
- Se calcula el factor de disipación o tangente delta, que mide la relación entre las pérdidas activas y la energía almacenada en el aceite.

Valores esperados:

- Un factor de pérdidas bajo, generalmente menor a 0.005 (0.5%), indica que el aceite está en buen estado.
- Un valor alto indica contaminación o degradación del aceite, lo que afecta su capacidad aislante.

4. Prueba de Contenido de Gases Disueltos (DGA - Dissolved Gas Analysis)

El análisis de gases disueltos (DGA) es una prueba crítica que se utiliza para detectar gases disueltos en el aceite que pueden ser productos de descargas eléctricas, sobrecalentamiento o arcos dentro del transformador. El DGA puede



proporcionar una indicación temprana de fallas internas.

Procedimiento:

- Se extrae una muestra de aceite y se analiza con un cromatógrafo de gases para identificar los diferentes tipos de gases presentes, como hidrógeno (H_2), metano (CH_4), acetileno (C_2H_2), etileno (C_2H_4), etano (C_2H_6), y dióxido de carbono (CO_2).
- Cada tipo de gas está asociado con un tipo de falla:
 - Hidrógeno (H_2):** asociado a descargas parciales.
 - Acetileno (C_2H_2):** indica la presencia de arcos eléctricos.
 - Metano (CH_4) y Etileno (C_2H_4):** están relacionados con sobrecalentamiento del aceite.
 - Dióxido de carbono (CO_2) y monóxido de carbono (CO):** asociados a la degradación térmica del papel aislante.

Valores esperados:

- Cada gas tiene niveles aceptables en partes por millón (ppm) según el tipo de transformador y su antigüedad.
- Si los niveles de ciertos gases superan los límites aceptables, se puede inferir

el tipo de falla que está ocurriendo.



Figura 7: Toma de muestra de aceite. Fuente: (Santa, 2018)

NATURALEZA DEL DEFECTO	GAS CLAVE	ESCENARIO DE POSIBLES ACTUACIONES
DESCARGAS PARCIALES	H₂	El equipo se puede mantener en servicio con vigilancia.
	CH₄	Evaluar: Contenido y velocidad de formación de gases.
DESCARGAS ELÉCTRICAS	C₂H₂	Mantener una actitud prudente.
	C₂H₄	Determinar si se trata de un defecto de evolución rápida. Si hay gases en Buchholz comparar con gases en aceite. Examinar las posibilidades de reparar.



NATURALEZA DEL DEFECTO	GAS CLAVE	ESCENARIO DE POSIBLES ACTUACIONES
TÉRMICO SOLO ACEITE	C2H4	El transformador puede permanecer en servicio.
	C2H6	Evaluar: Contenido y velocidad de formación de gases.
TÉRMICO ACEITE Y PAPEL		Riesgo de fallo eléctrico por carbonización del papel.
	C2H4 C2H6 CO y CO2	Evaluar: Contenido y velocidad de formación de gases. Valorar grado de polimerización del papel.

5. Prueba de Contenido de PCB (Bifenilos Policlorados)

El PCB (Polychlorinated Biphenyls) es un compuesto químico tóxico y prohibido en muchos países debido a sus efectos nocivos para la salud y el medio ambiente. En el pasado, el PCB fue utilizado como aditivo en aceites dieléctricos para mejorar su estabilidad térmica, pero hoy en día se busca eliminar su presencia.

Procedimiento:

- Se toma una muestra del aceite y se analiza mediante

técnicas cromatográficas para detectar la presencia de PCB.

Valores esperados:

- El contenido de PCB debe ser **cero** o estar por debajo de los límites regulados por las normativas de cada país (generalmente en niveles inferiores a **2 ppm**).
- Si el aceite contiene PCB, se debe proceder a su reemplazo y eliminación adecuada, ya que los transformadores con PCB son considerados peligrosos.

6. Prueba de Acidez (Número de Neutralización)

Esta prueba mide la **acidez** del aceite, que es un indicador del envejecimiento del aceite. A medida que el aceite se degrada, se generan ácidos que pueden corroer las partes metálicas del transformador y dañar el aislamiento.

Procedimiento:

- Se utiliza una técnica de titulación para medir la cantidad de base necesaria para neutralizar los ácidos presentes en el aceite.
- El resultado se expresa en **miligramos de KOH (hidróxido de potasio)** por gramo de aceite.

Valores esperados:

- Los aceites nuevos o en buen estado suelen tener un valor

de acidez inferior a **0.1 mg KOH/g**.

- Valores altos de acidez (mayores a **0.3 mg KOH/g**) indican que el aceite está deteriorado y debe reemplazarse o tratarse.

7. Prueba de Viscosidad

La **viscosidad** es una medida de la resistencia del aceite a fluir. La viscosidad del aceite dieléctrico influye en su capacidad para enfriar el transformador. Si el aceite es demasiado viscoso, puede no fluir correctamente, lo que afectará su capacidad de refrigeración.

Procedimiento:

- Se mide el tiempo que tarda una muestra de aceite en fluir a través de un tubo capilar bajo condiciones controladas de temperatura.

Valores esperados:

- El valor de la viscosidad debe estar dentro de los rangos especificados por el fabricante. Un aumento en la viscosidad puede indicar que el aceite se ha oxidado o contaminado, lo que puede afectar su capacidad para refrigerar el transformador.

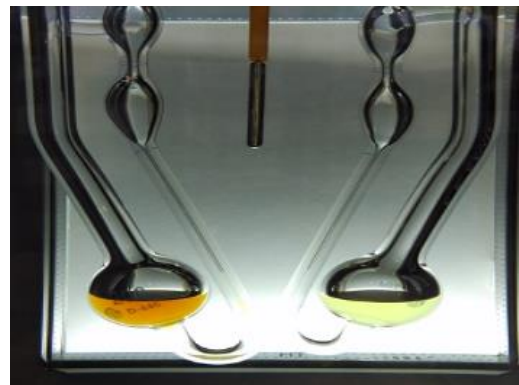


Figura 8: Ensayo de viscosidad. Fuente: (Santa, 2018)

8. Prueba de Contenido de Sedimentos y Fibras

Esta prueba se realiza para determinar la presencia de **partículas sólidas**, sedimentos o fibras que pueden haberse acumulado en el aceite a lo largo del tiempo. La presencia de estos contaminantes afecta la capacidad aislante y de enfriamiento del aceite.

Procedimiento:

- Se filtra una muestra de aceite para detectar y medir la cantidad de partículas y sedimentos en la muestra.

Valores esperados:

- Aceites en buen estado no deben contener cantidades significativas de sedimentos ni partículas. La presencia de muchas partículas puede indicar deterioro del aceite o contaminación externa.

9. Prueba de Color

El **color** del aceite es un indicador visual del estado del aceite. Aceites dieléctricos en buen estado suelen ser claros o ligeramente amarillos.

Con el tiempo, el aceite puede oscurecerse debido a la oxidación o contaminación.

Procedimiento:

- Se compara el color del aceite con una escala de referencia estandarizada para determinar si ha habido cambios significativos.

Valores esperados:

- Un aceite que se vuelve oscuro o marrón puede estar oxidado o contaminado, lo que sugiere que es necesario reemplazarlo o regenerarlo.



Figura 9: Ensayo de color. Fuente: (Santa, 2018)

Las pruebas al aceite dieléctrico de un transformador son fundamentales para asegurar la **fiabilidad** y **seguridad** del equipo. El aceite, al actuar como aislante y refrigerante, debe mantenerse en óptimas condiciones para prevenir fallos graves. Las pruebas periódicas permiten detectar **problemas incipientes** como humedad, gases disueltos, ácidos o contaminación, y permiten realizar intervenciones correctivas antes de que ocurra una falla catastrófica.

Si alguna de estas pruebas revela que el aceite ha perdido sus propiedades, se puede optar por **reemplazar** el aceite o **regenerarlo** mediante técnicas de filtrado y secado. La **monitorización constante** del estado del aceite es clave para alargar la vida útil del transformador.



CUESTIONARIO CAPITULO 2

1. ¿Cuál de las siguientes características define a un transformador ideal?
 - a. No tiene pérdidas de energía y su eficiencia es del 100%.
 - b. Tiene pérdidas únicamente por resistencia en los devanados.
 - c. Genera calor debido a las pérdidas en el núcleo.
 - d. Presenta pérdidas por corrientes parásitas en el núcleo y los devanados.

2. ¿Cuáles son las principales fuentes de pérdidas en un transformador real?
 - a. Pérdidas por efecto Joule en los devanados y pérdidas por histéresis en el núcleo.
 - b. Pérdidas por acoplamiento magnético y radiación.
 - c. Pérdidas por fricción mecánica en los devanados.
 - d. Pérdidas por inducción mutua entre el primario y el secundario.

3. ¿Cómo se compara la eficiencia de un transformador real con la de un transformador ideal?
 - a. La eficiencia del transformador real es siempre mayor que la del transformador ideal.
 - b. La eficiencia del transformador real es menor debido a las pérdidas de energía.
 - c. Ambos tienen la misma eficiencia, ya que la energía no se pierde en ninguno de los dos.
 - d. La eficiencia del transformador real solo es mayor cuando hay carga en el secundario.

4. ¿Cómo afecta la resistencia de los devanados en un transformador real a la relación de transformación entre el primario y el secundario?
 - a. No afecta en absoluto la relación de transformación.
 - b. Disminuye el voltaje en el secundario debido a las caídas de tensión.
 - c. Aumenta el voltaje en el secundario debido a las pérdidas por efecto Joule.
 - d. Solo afecta la corriente, no el voltaje, en el devanado secundario.



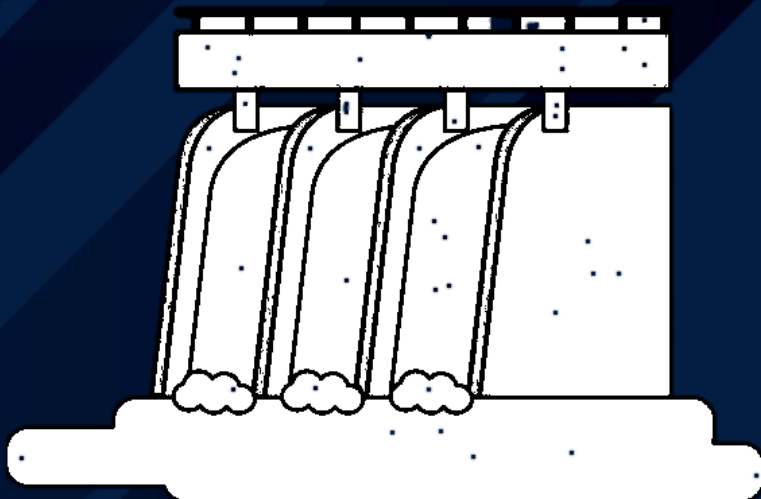
5. En un transformador ideal, si se triplica la cantidad de vueltas en el secundario, ¿qué ocurre con la corriente en el secundario?

- a. La corriente se triplica.
- b. La corriente se reduce a un tercio de la corriente original.
- c. La corriente permanece constante.
- d. La corriente se duplica

EJERCICIOS CAPITULO 2

1. Durante la prueba de rigidez dieléctrica (BDV) del aceite de un transformador, se mide la tensión a la cual el aceite pierde su capacidad de aislamiento. Si el voltaje de ruptura medido es inferior a 30 kV, ¿qué podría estar indicando este resultado?
 - a. El aceite está en buen estado.
 - b. Hay una alta cantidad de humedad o contaminantes en el aceite.
 - c. El transformador está trabajando a plena carga.
 - d. La temperatura del aceite es demasiado baja.
2. En la prueba de relación de transformación (TTR) de un transformador, se mide la relación de tensiones entre los devanados primario y secundario. Si la relación medida es diferente de la esperada, ¿cuál podría ser una de las posibles causas?
 - a. Los devanados tienen una resistencia más baja de lo normal.
 - b. El núcleo del transformador presenta pérdidas por corrientes parásitas.
 - c. Existe un cortocircuito o daño en alguno de los devanados.
 - d. El transformador está operando a temperaturas muy altas
3. En una prueba de resistencia de aislamiento realizada en un transformador, se obtiene un valor muy bajo de resistencia entre los devanados y el núcleo. ¿Qué podría indicar este resultado?
 - a. El aislamiento entre los devanados y el núcleo está en buen estado.
 - b. Existe humedad o degradación en el sistema de aislamiento.
 - c. Los devanados están a la temperatura ideal de operación.
 - d. El transformador está funcionando correctamente bajo condiciones de carga.
4. Durante una prueba de pérdidas en el núcleo de un transformador, se observan pérdidas elevadas. ¿Cuál de las siguientes podría ser una causa probable de este resultado?
 - a. : Presencia de gas en el aceite dieléctrico.
 - b. Incremento en las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas en el núcleo.
 - c. Daño en los devanados del transformador.
 - d. Baja tensión en el devanado primario.

03



GENERADORES ELÉCTRICOS DE CA

Un generador de corriente alterna (CA), también conocido como alternador, es una máquina eléctrica que convierte energía mecánica en energía eléctrica en forma de corriente alterna. Los generadores de CA son fundamentales en la producción y suministro de electricidad en las redes eléctricas, y son ampliamente utilizados en centrales eléctricas, tanto térmicas como hidráulicas, así como en aplicaciones industriales.

A continuación, te explico detalladamente cómo funciona un generador de corriente alterna, sus componentes principales, su principio de operación, y algunos aspectos importantes relacionados con su uso y diseño.

1. Principio de Funcionamiento

El principio de funcionamiento de un generador de CA se basa en la **Ley de Faraday de la Inducción Electromagnética**, la cual establece que cuando un conductor se mueve dentro de un campo magnético variable, se induce una corriente eléctrica en el conductor.

En el caso del generador de corriente alterna:

- **Un campo magnético** (creado por imanes permanentes o electroimanes) interactúa con **un conjunto de conductores** (normalmente bobinas de alambre) que se mueven con respecto al campo magnético.
- Al girar los conductores en este campo magnético, el

flujo magnético a través de las bobinas varía con el tiempo, lo que induce una corriente eléctrica.

- La corriente generada alterna su dirección de manera periódica, es decir, **cambia de polaridad** a medida que los conductores cruzan diferentes regiones del campo magnético.

Este cambio de polaridad es lo que define a la **corriente alterna**: una corriente que varía en magnitud y dirección de manera sinusoidal, a una frecuencia determinada (por ejemplo, 50 o 60 Hz en las redes eléctricas de muchos países).

2. Componentes Principales de un Generador de Corriente Alterna

Un generador de CA consta de varios componentes clave que permiten su funcionamiento:

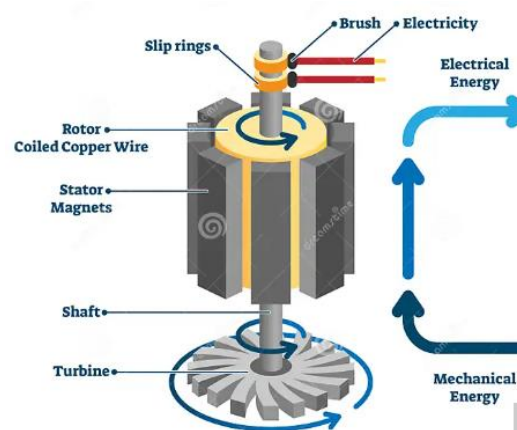


Figura 10: Generador CA

a) Rotor

El rotor es la parte móvil del generador, que puede ser un imán permanente o una bobina que actúa como electroimán. Es responsable de crear el **campo**



magnético rotante necesario para inducir la corriente en el estator.

- **Imanes permanentes:** Usados en alternadores de menor potencia, generan el campo magnético sin necesidad de una fuente externa de energía.
- **Electroimanes:** En generadores más grandes, se utilizan electroimanes que requieren corriente externa (corriente de excitación) para generar el campo magnético.

b) Estator

El estator es la parte **fija** del generador, que contiene las bobinas de alambre donde se induce la corriente alterna. Estas bobinas están dispuestas alrededor del rotor y, cuando el rotor gira, la **variación del campo magnético** induce una corriente eléctrica en las bobinas.

c) Conmutador o Sistema de Excitación

En los generadores con **electroimanes** en el rotor, se requiere un sistema de excitación que suministra corriente directa (CD) al rotor para crear el campo magnético. Este sistema incluye un conmutador o anillos rozantes que transmiten la corriente al rotor.

d) Regulador de Voltaje

Este dispositivo controla el voltaje de salida del generador, ajustando la corriente de excitación suministrada al rotor en función de la demanda de carga. De esta manera, el

generador puede mantener un voltaje constante en la salida.

e) Carcasa o Estructura

El conjunto de rotor y estator se encuentra dentro de una carcasa protectora que asegura la estabilidad mecánica y protege al generador de elementos externos.

3. Proceso de Generación de Corriente Alterna

El proceso de generación de corriente alterna se puede resumir en los siguientes pasos:

1. **Movimiento mecánico:** Una **fuerza de energía mecánica**, como una turbina de vapor, de gas, o una turbina hidráulica, hace girar el rotor del generador.
2. **Campo magnético rotante:** A medida que el rotor gira, el campo magnético que genera también se desplaza, y sus líneas de fuerza cruzan las bobinas en el estator.
3. **Inducción electromagnética:** Al variar el flujo magnético a través de las bobinas del estator, según la Ley de Faraday, se induce una corriente alterna en las bobinas. Esta corriente cambia de dirección cada vez que el rotor completa media vuelta, lo que genera una corriente de tipo sinusoidal.
4. **Salidas de corriente:** La corriente generada en el estator es recogida por los terminales de salida del



generador, los cuales se conectan al sistema eléctrico para suministrar energía.

4. Tipos de Generadores de Corriente Alterna

Existen varios tipos de generadores de CA, clasificados principalmente por su diseño y aplicación:

a) Generadores Síncronos

Estos son los generadores más comunes en las centrales eléctricas. En un generador síncrono:

- El rotor gira a una **velocidad constante** en sincronización con la frecuencia de la red eléctrica (50 o 60 Hz).
- Se utilizan ampliamente para la **generación de energía a gran escala** en plantas hidroeléctricas, térmicas y nucleares.

b) Generadores Asíncronos o de Inducción

A diferencia de los síncronos, los generadores de inducción no dependen de un rotor que esté sincronizado con la frecuencia de la red.

- Son más simples y robustos.
- Se utilizan en aplicaciones como **aerogeneradores** o **sistemas de generación aislados**, ya que son menos costosos y más sencillos de operar.

5. Características de la Corriente Alterna Generada

La corriente alterna producida por un generador de CA tiene varias características clave:

a) Frecuencia

La frecuencia de la corriente alterna depende de la velocidad de rotación del rotor y del número de polos magnéticos en el generador. En sistemas eléctricos de distribución, las frecuencias estándar son **50 Hz** (en Europa, Asia y África) y **60 Hz** (en América).

- La frecuencia está dada por la fórmula:

$$N_s = \frac{120 * f}{P}$$

Donde:

- f es la frecuencia en Hz.
- N_s es la velocidad de rotación del rotor en RPM (revoluciones por minuto).
- P es el número de polos magnéticos del generador.

b) Voltaje

El voltaje generado depende del diseño del generador y de la corriente de excitación aplicada en los generadores con electroimanes. Este voltaje debe ser **regulado** para mantener la estabilidad en el sistema de distribución de energía.

c) Forma de onda sinusoidal

La corriente alterna generada por un alternador tiene una **forma de onda sinusoidal**, donde la corriente varía cíclicamente entre valores positivos y negativos. Esta variación



cíclica es crucial para las aplicaciones en redes eléctricas, ya que permite la transmisión eficiente de energía a grandes distancias.

6. Ventajas y Usos de los Generadores de Corriente Alterna

Los generadores de CA ofrecen varias ventajas importantes:

- **Eficiencia en la transmisión:** La corriente alterna se puede transformar fácilmente a voltajes más altos, lo que permite la transmisión eficiente de electricidad a largas distancias.
- **Simplicidad del diseño:** Los generadores de CA, en especial los síncronos, tienen un diseño relativamente simple, lo que reduce costos de mantenimiento.
- **Uso universal:** La mayoría de los sistemas eléctricos en el mundo operan con corriente alterna, lo que hace que los generadores de CA sean fundamentales en la generación de electricidad a gran escala.

Aplicaciones:

- **Centrales eléctricas:** La mayor parte de la electricidad que consumimos proviene de generadores síncronos de corriente alterna.
- **Sistemas industriales:** Generadores de CA se utilizan para alimentar motores y otros equipos en aplicaciones industriales.

- **Generación renovable:** Los aerogeneradores y otros sistemas de energía renovable utilizan generadores de CA para convertir energía mecánica (como el viento o el agua) en energía eléctrica.

Los generadores de corriente alterna son dispositivos esenciales para la producción y distribución de energía eléctrica en todo el mundo. Su capacidad para generar corriente alterna de manera eficiente, junto con la facilidad de transmisión de esta corriente a largas distancias, los hace la elección ideal para la mayoría de las aplicaciones de generación de energía. Estos generadores operan bajo principios electromagnéticos, aprovechando el movimiento mecánico para inducir corrientes en un sistema eléctrico, con características clave como voltaje, frecuencia y forma de onda sinusoidal ajustadas según las necesidades del sistema eléctrico.

3.1. Par y Potencia de un generador



La **potencia** y el **par** (o torque) en un **generador de corriente alterna (CA)** son conceptos fundamentales que describen el rendimiento mecánico y eléctrico de la máquina. Estas magnitudes están íntimamente relacionadas, ya que un generador convierte la **energía mecánica** (aplicada por una fuente externa) en **energía eléctrica**. A continuación, te explico detalladamente cada uno de estos conceptos en el contexto de un generador de CA.

1. Potencia en un Generador de Corriente Alterna

La **potencia eléctrica** que un generador de corriente alterna es capaz de entregar es el resultado de convertir la **energía mecánica** suministrada por una fuente externa (como una turbina) en energía eléctrica que puede ser utilizada para alimentar cargas.

Tipos de Potencia en Generadores de CA

En los sistemas de corriente alterna, es importante distinguir entre los diferentes tipos de potencia involucrados:

a) Potencia Aparente (S)

La **potencia aparente** es la **potencia total** que el generador produce y está compuesta por dos partes: la potencia activa (real) y la potencia reactiva. Se mide en **voltamperios (VA)**, aunque para sistemas grandes suele expresarse en **kVA** o **MVA**.

- La fórmula para calcular la potencia aparente es:

$$S = V * I$$

Donde:

- S= es la potencia aparente en voltamperios (VA),
- V= es el voltaje de salida del generador en voltios (V),
- I= es la corriente que fluye en amperios (A).

b) Potencia Activa (P)

La **potencia activa** es la parte de la potencia aparente que realiza **trabajo útil**. Es la potencia que

realmente se transfiere a las cargas para hacer funcionar equipos, motores, iluminación, etc. Se mide en **vatios (W)**, aunque para sistemas grandes suele expresarse en **kW** o **MW**.

- La fórmula de la potencia activa es:

$$P = V * I * \cos \theta$$

Donde:

- P es la potencia activa en vatios (W),
- V es el voltaje de salida del generador (V),
- I es la corriente (A),
- $\cos \theta$ es el **factor de potencia**, que depende del desfase entre el voltaje y la corriente.

c) Potencia Reactiva (Q)

La potencia reactiva es la parte de la potencia que no realiza trabajo útil, pero que es necesaria para mantener los campos magnéticos en los componentes del sistema, como motores y transformadores. Se mide en voltamperios reactivos (VAR).

- La fórmula de la potencia reactiva es:

$$Q = V * I * \sin \theta$$

Donde:

- Q es la potencia reactiva en VAR,
- θ es el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente.

d) Relación entre las Potencias

La relación entre la potencia aparente, activa y reactiva se puede expresar gráficamente mediante un triángulo de potencias, donde:

- La **potencia aparente (S)** es la hipotenusa del triángulo.
- La **potencia activa (P)** es el cateto adyacente.
- La **potencia reactiva (Q)** es el cateto opuesto.

La relación entre ellas está dada por:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

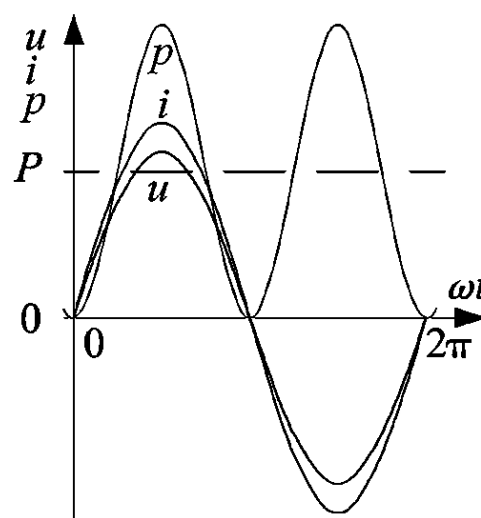


Figura 11: Función de la potencia. Fuente: propia

2. Par (Torque) en un Generador de Corriente Alterna

El par o torque en un generador de CA es una medida de la fuerza de rotación que debe aplicarse al eje del rotor para mantener el movimiento. Esta fuerza es suministrada por una fuente mecánica, como una turbina hidráulica, de vapor o de gas, y es



necesaria para que el rotor gire dentro del campo magnético y genere corriente eléctrica.

Relación entre el Par y la Potencia Mecánica

El par T y la **potencia mecánica** P_m están directamente relacionados, ya que el par es la fuerza que produce la rotación, y la potencia es el trabajo realizado por esa fuerza durante un período de tiempo.

La relación entre el par, la potencia mecánica y la **velocidad angular** del rotor es la siguiente:

Donde:

$$P_m = \tau * \omega$$

- P_m es la **potencia mecánica** en vatios (W),
- T es el **par** en newton-metro (N·m),
- ω es la **velocidad angular** en radianes por segundo (rad/s).

La velocidad angular ω se relaciona con la **velocidad de rotación del generador** n en revoluciones por minuto (RPM) mediante la fórmula:

De esta manera, podemos calcular el par necesario para generar una potencia eléctrica específica.

Par Necesario en un Generador de CA

El par necesario para mantener el generador funcionando depende de varios factores:

- **La potencia eléctrica demandada:** A medida que aumenta la carga eléctrica conectada al generador, la potencia mecánica

requerida también aumenta, lo que requiere un mayor par.

- **La eficiencia del generador:** Las pérdidas de energía en el sistema también influyen en el par necesario. Cuanto más eficiente es el generador, menor es el par necesario para producir una determinada cantidad de potencia eléctrica.
- **La velocidad del rotor:** La velocidad de rotación del rotor también afecta el par, ya que la potencia es el producto del par y la velocidad angular.

3. Relación entre el Par y la Potencia Eléctrica Generada

El par en un generador está directamente relacionado con la potencia eléctrica generada. La potencia mecánica P_m suministrada por la turbina o motor que impulsa el generador se convierte en potencia eléctrica P_e en el estator, con algunas pérdidas por fricción, resistencia en los devanados, y otras causas.

La fórmula para relacionar la potencia eléctrica generada con el par es similar a la de la potencia mecánica:

$$P_e = T * \omega * \eta$$

Donde:

- P_e es la potencia eléctrica generada en vatios (W),
- T es el par aplicado al rotor en newton-metro (N·m),



- ω es la velocidad angular del rotor en radianes por segundo (rad/s),
- η es la eficiencia del generador, que toma en cuenta las pérdidas mecánicas y eléctricas.

4. Importancia del Par en la Operación del Generador

El **par** es crucial en el funcionamiento del generador, ya que un par insuficiente puede hacer que el generador no pueda mantener su velocidad de rotación, lo que podría resultar en una reducción en la frecuencia de la corriente alterna generada o incluso en la parada del generador.

Por otro lado, un par excesivo puede causar tensiones mecánicas adicionales en el sistema de rotación y aumentar el desgaste del generador, por lo que es importante mantener un equilibrio adecuado entre la potencia eléctrica generada y el par aplicado.

5. Ejemplo de Cálculo de Par y Potencia en un Generador de CA

Supongamos que un generador de CA está funcionando a una velocidad de 1500 RPM y está generando una potencia eléctrica de 100 kW con una eficiencia del 95%.

Paso 1: Calcular la velocidad angular ω .

$$\omega = \frac{2 * \pi * 1500}{60} = 157.08 \frac{rad}{s}$$

Paso 2: Calcular la potencia mecánica requerida

$$P_m = \frac{100kW}{0.95} = 105.26kW$$

Paso 3: Calcular el par aplicado

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{105.26kW}{157.08 rad/s} = 670.02 Nm$$

Por lo tanto, el generador necesita un par de 670.02 N·m para generar una potencia eléctrica de 100 kW a 1500 RPM, con una eficiencia del 95%.

En un generador de corriente alterna, la potencia representa la cantidad de energía eléctrica que puede generar, y se divide en potencia activa (que realiza trabajo útil) y reactiva (necesaria para mantener los campos magnéticos). El par, por su parte, es la fuerza de rotación que debe aplicarse al rotor para que este gire y genere electricidad. Ambos conceptos están estrechamente relacionados: el par aplicado al generador debe ser suficiente para cubrir la demanda de potencia eléctrica y compensar las pérdidas del sistema.



CUESTIONARIO CAPITULO 3

1. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de un generador de corriente alterna?

- a) Efecto Joule
- b) Inducción electromagnética
- c) Electroforesis
- d) Conductividad térmica

2. ¿Qué componente en un generador de corriente alterna es responsable de crear el campo magnético rotante?

- a) Estator
- b) Rotor
- c) Regulador de voltaje
- d) Conmutador

3. ¿Qué tipo de corriente genera un alternador?

- a) Corriente continua
- b) Corriente pulsante
- c) Corriente alterna
- d) Corriente estática

4. ¿Cuál de las siguientes máquinas convierte la energía mecánica en energía eléctrica en forma de corriente alterna?

- a) Transformador
- b) Motor de corriente alterna
- c) Generador síncrono
- d) Rectificador

5. ¿Cuál de los siguientes factores afecta la frecuencia de la corriente generada por un generador de corriente alterna?

- a) El número de polos magnéticos y la velocidad de rotación del rotor
- b) La resistencia del circuito de carga
- c) El tipo de material del rotor
- d) El grosor del alambre en las bobinas del estator



EJERCICIOS CAPITULO 3

1. Un generador de corriente alterna tiene 4 polos y su rotor gira a 1800 revoluciones por minuto (RPM). ¿Cuál es la frecuencia de la corriente generada?

- a) 30 Hz
- b) 60 Hz
- c) 120 Hz
- d) 90 Hz

2. En un generador de corriente alterna, si se aumenta la velocidad de rotación del rotor, ¿qué sucede con la frecuencia de la corriente generada?

- a) Disminuye
- b) Permanece constante
- c) Aumenta
- d) Se invierte

3. Un generador de corriente alterna está funcionando a una frecuencia de 50 Hz y genera una tensión máxima de 311 V. ¿Cuál es el valor eficaz (RMS) de la tensión generada?

- a) 220 V
- b) 311 V
- c) 110 V
- d) 155.5 V

4. Si la potencia mecánica suministrada a un generador de corriente alterna disminuye, de 120kW a 76kW ¿qué ocurre con la potencia eléctrica generada?

- a) Aumenta
- b) Disminuye
- c) Permanece constante
- d) Se duplica

5. Un generador de corriente alterna de 6 polos genera una frecuencia de 60 Hz. ¿A cuántas revoluciones por minuto (RPM) está girando el rotor?

- a) 600 RPM
- b) 1200 RPM
- c) 1800 RPM
- d) 3600 RPM.



04

MOTORES ELÉCTRICOS DE CA



Los motores de corriente alterna (CA) son máquinas eléctricas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica utilizando la corriente alterna. Se emplean ampliamente en la industria, electrodomésticos y sistemas de transporte debido a su durabilidad, bajo mantenimiento y facilidad de uso con las redes eléctricas de CA.

¿Cómo funciona?

1. Campo Magnético Rotativo:

- **Estator:** En la parte fija del motor, llamada estator, se encuentran bobinas de alambre. Al aplicar corriente alterna a estas bobinas, se genera un campo magnético que cambia de dirección y magnitud de forma sinusoidal a lo largo del tiempo. Este campo magnético no es estático, sino que rota en el espacio.
- **Rotor:** En la parte móvil, o rotor, se encuentran conductores eléctricos. Estos conductores pueden estar dispuestos de diferentes formas, dependiendo del tipo de motor (rotor en jaula de ardilla, rotor bobinado, etc.).
- **Interacción:** El campo magnético rotativo del estator induce corrientes eléctricas en los conductores del rotor. Estas corrientes, a su vez, generan un campo magnético en el rotor. La interacción entre el campo magnético del estator y el del rotor produce

una fuerza que hace girar el rotor.

2. Tipos de Motores CA:

- **Motores Asíncronos:** Son los más comunes. El rotor gira a una velocidad ligeramente inferior a la del campo magnético rotativo.
- **Motores Síncronos:** La velocidad de rotación del rotor es exactamente igual a la velocidad del campo magnético rotativo. Requieren de un sistema de excitación para generar el campo magnético en el rotor.

Ventajas de los Motores CA:

- **Simplicidad:** Construcción relativamente sencilla.
- **Robustez:** Alta resistencia a sobrecargas y condiciones adversas.
- **Eficiencia:** Alto rendimiento en la conversión de energía eléctrica en mecánica.
- **Control:** Facilidad de control de velocidad y par.

4.1. Motores de inducción



Un motor de inducción es un tipo de motor eléctrico de corriente alterna (CA) en el cual el rotor gira a una velocidad ligeramente inferior a la del campo magnético del estator. Es decir, el rotor "induce" una corriente eléctrica que interactúa con el campo magnético del estator, generando el movimiento

- El motor es llamado "asíncrono" porque el rotor gira a una velocidad **inferior** a la del campo magnético giratorio. Esta diferencia en velocidad se conoce como **deslizamiento (slip)**. Si el rotor girara a la misma velocidad que el campo magnético, no se induciría corriente en el rotor, y el motor no generaría par.

Componentes Principales

1. **Estator:** Contiene el devanado por el que pasa la corriente alterna para generar el campo magnético.
2. **Rotor:** Generalmente en forma de "jaula de ardilla", recibe la corriente inducida y genera su propio campo magnético.
3. **Carcasa:** Cubre y protege los componentes internos.
4. **Ventilador:** En muchos motores de inducción, un ventilador en la parte trasera ayuda a disipar el calor generado.

Características del Motor de Inducción

- **Velocidad variable:** La velocidad del rotor es menor que la velocidad del campo magnético del estator.
- **Robustez y bajo mantenimiento:** No tiene conmutadores ni escobillas, lo que lo hace duradero y de bajo mantenimiento.



- **Arranque sencillo:** En motores trifásicos, el arranque es automático; los motores monofásicos requieren condensadores para arrancar.

Tipos de Motores de Inducción

- **Monofásicos:** Usados en aplicaciones pequeñas como ventiladores, electrodomésticos y bombas.
- **Trifásicos:** Usados en aplicaciones industriales por su mayor eficiencia y potencia.

Aplicaciones del Motor de Inducción

- Electrodomésticos (lavadoras, refrigeradores)
- Maquinaria industrial (bombas, ventiladores, compresores)
- Vehículos eléctricos
- Sistemas de ventilación y climatización

Cálculo del Deslizamiento en un Motor de Inducción

Supongamos que tenemos un motor de inducción trifásico con una velocidad síncrona de 1800 revoluciones por minuto (RPM) y una velocidad real del rotor de 1750 RPM. El deslizamiento (SSS) se calcula de la siguiente forma:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} * 100$$

Donde:

- N_s es la velocidad síncrona (1800 RPM).

- N_r es la velocidad real del rotor (1750 RPM).

Sustituyendo valores:

$$S = \frac{1800 - 1750}{1800} * 100$$

$$s = 2.78\%$$

Esto significa que el motor tiene un deslizamiento del **2.78%**, lo cual es normal en un motor de inducción.

2. Motores Síncronos

Principio de Funcionamiento

A diferencia de los motores asíncronos, los **motores síncronos** giran a la **misma velocidad** que el campo magnético generado en el estator, es decir, no tienen deslizamiento. Esto ocurre porque el rotor está sincronizado con el campo magnético giratorio del estator.

El rotor de un motor síncrono puede ser:

- **Un electroimán** (alimentado por corriente continua),
- **Imanes permanentes.**

Cuando el motor se conecta a la corriente alterna, el campo magnético giratorio en el estator atrae y alinea los polos magnéticos del rotor. Esto permite que el rotor gire exactamente a la velocidad del campo magnético.

Componentes Principales

1. **Estator:** Genera el campo magnético giratorio, similar al motor de inducción.
2. **Rotor:** Contiene un electroimán o imanes



permanentes que generan su propio campo magnético.

3. **Fuente de excitación:** Alimenta al rotor con corriente continua para generar un campo magnético constante.
4. **Sistemas de arranque:** Dado que los motores síncronos no generan par en reposo, requieren un mecanismo adicional de arranque, como un motor auxiliar o el uso del motor como motor de inducción al principio.

Características del Motor Síncrono

- **Velocidad constante:** Siempre gira a una velocidad fija, determinada por la frecuencia de la corriente alterna y el número de polos.
- **Requiere excitación:** El rotor necesita ser alimentado por corriente continua para generar su propio campo magnético.
- **Control del factor de potencia:** Los motores síncronos pueden ser utilizados para mejorar el factor de potencia de una instalación eléctrica al controlar la cantidad de corriente reactiva consumida o suministrada.

Aplicaciones del Motor Síncrono

- **Generadores eléctricos:** En las centrales eléctricas, los generadores síncronos son esenciales para producir energía eléctrica a frecuencia constante.

- **Maquinaria de precisión:** Se utilizan en aplicaciones donde se requiere mantener una velocidad precisa, como en relojes eléctricos o maquinaria de alta precisión.
- **Sistemas de corrección del factor de potencia:** Pueden mejorar la eficiencia de sistemas eléctricos industriales.

Cálculo de Velocidad en un Motor Síncrono

La velocidad de un motor síncrono (N_s) está determinada por la frecuencia de la red eléctrica (f) y el número de polos (P) del motor, según la fórmula:

$$N_s = \frac{120 * f}{P}$$

Por ejemplo, si tenemos un motor conectado a una red eléctrica de 60 Hz con 4 polos:

$$N_s = \frac{120 * 60Hz}{4} = 1800 \text{ rpm}$$

El motor girará a una velocidad de **1800 RPM**, siempre que no haya deslizamiento.

Comparación entre Motores Asíncronos y Motores Síncronos

Característica	Motor Asíncrono (Inducción)	Motor Síncrono
Alimentación del rotor	No requiere alimentación externa (inducción)	Requiere alimentación con corriente continua



Característica	Motor Asíncrono (Inducción)	Motor Síncrono
Par en reposo	Genera par desde el arranque	No genera par en reposo, necesita sistema de arranque
Uso común	Maquinaria industrial, electrodomésticos	Generadores, maquinaria de precisión, corrección de factor de potencia
Control del factor de potencia	No controla el factor de potencia	Puede mejorar o controlar el factor de potencia
Complejidad	Sencillo y económico	Más complejo y costoso

Motores de Inducción Monofásicos y Trifásicos

- **Motores monofásicos:** Funcionan con una única fase de corriente alterna. Son utilizados en aplicaciones de baja potencia, como ventiladores, electrodomésticos y bombas pequeñas. Dado que no generan un campo magnético giratorio por sí solos, requieren de

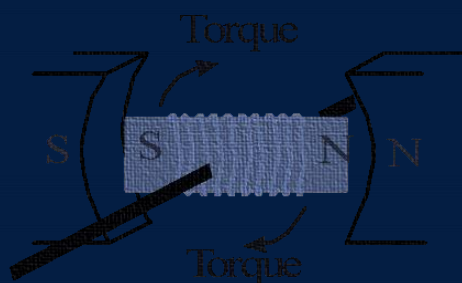
dispositivos auxiliares como **condensadores** para el arranque.

- **Motores trifásicos:** Utilizan tres fases de corriente alterna, lo que genera un campo magnético giratorio de manera natural, permitiendo un arranque automático y una operación más eficiente. Son los más comunes en aplicaciones industriales por su capacidad de manejar grandes cargas y su alta eficiencia.

Los motores de corriente alterna (CA) son fundamentales en la industria y en la vida cotidiana, ya que permiten convertir la energía eléctrica en movimiento mecánico de manera eficiente y confiable. Los motores asíncronos (de inducción) son los más utilizados por su simplicidad y bajo costo, mientras que los motores síncronos ofrecen ventajas en aplicaciones donde se requiere velocidad constante y control del factor de potencia.

La elección entre motores de inducción y síncronos depende de las necesidades específicas de la aplicación, como la potencia requerida, la precisión de la velocidad.

4.2. Potencia y Par en motores de inducción



La potencia y el par (o torque) son conceptos fundamentales en el análisis y operación de un motor de inducción. Estos dos parámetros están directamente relacionados con el desempeño del motor en cuanto a la cantidad de trabajo que puede realizar y la cantidad de carga que puede mover

a. Potencia Eléctrica Entrada (Potencia Absorbida)

Es la **potencia eléctrica** que el motor absorbe de la red de suministro eléctrico. Esta potencia se suministra al **estator**, que convierte la energía eléctrica en un campo magnético giratorio.

La **potencia de entrada** en un sistema trifásico se calcula mediante la fórmula:

$$P_{in} = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos(\phi)$$

Donde:

- V_L es el voltaje de línea.
- I_L es la corriente de línea.
- $\cos(\phi)$ es el factor de potencia, que tiene en cuenta el desfase entre la corriente y el voltaje.

b. Potencia Eléctrica Transferida al Rotor

El estator del motor genera un campo magnético que induce una corriente en el rotor a través del fenómeno de la inducción electromagnética. Parte de la potencia eléctrica absorbida por el estator se transfiere al rotor y se convierte en potencia mecánica.

c. Potencia Mecánica de Salida (Potencia Útil)

La **potencia de salida** es la energía que el motor efectivamente convierte en trabajo mecánico para hacer girar una carga. Es la potencia útil disponible en el eje del motor y se calcula mediante:

$$P_{OUT} = \tau * \omega$$

Donde:



- T es el par o torque generado en el eje del motor (medido en Newton-metros, Nm).
- ω es la velocidad angular del motor en radianes por segundo (rad/s).

Para convertir la velocidad del motor en revoluciones por minuto (RPM) a radianes por segundo (rad/s), usamos la fórmula:

$$\omega = \frac{2 * \pi * N}{60}$$

Donde N es la velocidad en revoluciones por minuto (RPM).

d. Potencia Perdida

Durante la operación del motor de inducción, no toda la potencia de entrada se convierte en potencia mecánica útil debido a las pérdidas. Las pérdidas en un motor de inducción incluyen:

- Pérdidas por fricción (en los rodamientos del motor).
- Pérdidas en el núcleo magnético (debido a la histéresis y las corrientes parásitas).
- Pérdidas por resistencia en los devanados del estator y del rotor.

Estas pérdidas reducen la eficiencia del motor, lo que lleva a una diferencia entre la potencia absorbida y la potencia de salida.

e. Rendimiento del Motor

El **rendimiento** de un motor de inducción se define como la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada. Se calcula como:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100$$

Donde η es la eficiencia del motor en porcentaje (%).

2. Par (Torque) en un Motor de Inducción

El par o torque es la fuerza de giro que produce el motor en su eje. Es fundamental para determinar la capacidad del motor para mover una carga mecánica. El par está relacionado con la cantidad de corriente que fluye a través del rotor y la interacción entre los campos magnéticos del estator y del rotor.

a. Fórmula para el Cálculo del Par

El par en un motor de inducción se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\tau = \frac{P_{salida}}{\omega}$$

Donde:

- T es el par (en Newton-metros, Nm).
- P_{salida} es la potencia mecánica de salida en vatios (W).
- ω es la velocidad angular en radianes por segundo (rad/s).

Si conocemos la potencia de salida en kilovatios (kW) y la velocidad en revoluciones por minuto (RPM), podemos usar una fórmula práctica:

$$\tau = \frac{9550 * P_{salida}}{N}$$

Donde:

- P_{salida} es la potencia de salida en kW.



- N es la velocidad en revoluciones por minuto (RPM).
- 9550 es una constante que resulta de convertir las unidades de kW y RPM a torque en Newton-metros (Nm).

b. Tipos de Par en un Motor de Inducción

1. **Par de Arranque:** Es el torque que produce el motor en el momento en que empieza a girar desde el reposo. En un motor de inducción, el par de arranque es fundamental, ya que debe ser suficientemente alto para vencer la inercia de la carga y comenzar el movimiento.
2. **Par Máximo (Par de Sobrecarga):** También llamado **par de ruptura**, es el valor máximo de torque que puede producir el motor antes de que el deslizamiento aumente significativamente y el motor pierda velocidad.
3. **Par Nominal:** Es el torque que produce el motor durante su operación normal, a la velocidad nominal y bajo condiciones estándar de carga. Es el valor de torque asociado a la potencia nominal del motor.
4. **Par de Estancamiento:** Es el torque que genera el motor cuando se bloquea o se detiene, es decir, cuando el rotor no puede girar. En este caso, aunque el motor recibe

energía, no genera trabajo útil.

c. Relación entre Par y Deslizamiento

En un motor de inducción, el par está directamente relacionado con el deslizamiento (SSS). El deslizamiento es la diferencia entre la velocidad del campo magnético giratorio (velocidad síncrona) y la velocidad del rotor. Cuanto mayor es el deslizamiento, mayor es la corriente inducida en el rotor y, por lo tanto, mayor es el torque generado.

La relación entre el par y el deslizamiento sigue una curva conocida como curva par-deslizamiento. Esta curva muestra cómo el par varía en función del deslizamiento:

- Al arrancar el motor, el deslizamiento es alto (cerca del 100%) y el par aumenta rápidamente.
- A medida que el motor acelera y el deslizamiento disminuye, el par también disminuye.
- El **par máximo** ocurre cuando el deslizamiento está en un valor intermedio, generalmente entre el 10% y el 15%.
- En condiciones normales de operación, el motor funciona con un deslizamiento muy bajo (típicamente entre 2% y 5%), lo que produce el **par nominal**.

Cálculo de Potencia y Par en un Motor de Inducción



Supongamos que tenemos un motor de inducción trifásico con las siguientes características:

- **Potencia de salida:** 10 kW
- **Velocidad nominal:** 1450 RPM

a. Cálculo del Par

Usamos la fórmula para calcular el torque:

$$\tau = \frac{9550 * P_{salida}}{N}$$

Sustituyendo los valores:

$$\tau = \frac{9550 * 10}{1540} = 65.86 \text{ Nm}$$

El motor genera un torque de 65.86 Nm a 1450 RPM.

b. Cálculo de la Potencia Eléctrica de Entrada.

Si el motor tiene un rendimiento del 90% la potencia de entrada puede calcularse como:

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta}$$

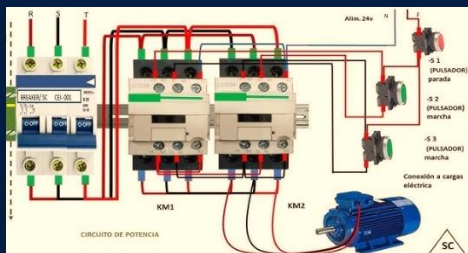
$$P_{in} = \frac{10}{0.9} = 11.11 \text{ kW}$$

La potencia eléctrica que el motor absorbe de la red es de 11.11 kW.

- **Potencia:** En un motor de inducción, la potencia es la cantidad de energía eléctrica absorbida que se convierte en trabajo mecánico útil en el eje del motor. Hay diferentes tipos de potencia, como la potencia de entrada, la potencia mecánica de salida y la potencia perdida.
- **Par:** El par es la fuerza de rotación que genera el motor.

Depende del deslizamiento del motor y de la interacción entre los campos magnéticos del estator y el rotor

4.3. Arranque de motores de inducción



El arranque de motores de inducción es un tema clave en la operación y el control de estos motores. Dado que los motores de inducción son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales y domésticas, el método de arranque correcto es crucial para garantizar su funcionamiento eficiente y proteger tanto el motor como el sistema eléctrico. El arranque adecuado es necesario para evitar corrientes iniciales excesivas y asegurar un buen rendimiento del motor desde el reposo hasta su velocidad nominal.

1. Problema del Arranque en Motores de Inducción

Cuando un motor de inducción arranca desde el reposo, el rotor no está girando y el **deslizamiento** es del 100% (ya que la velocidad del rotor es cero). En este estado, la corriente inducida en el rotor es máxima, lo que causa que el motor consuma una corriente muy alta en el estator durante los primeros instantes de arranque. Esta **corriente de arranque** puede ser de 5 a 7 veces mayor que la corriente nominal del motor, lo que puede causar problemas como:

- **Sobrecarga del sistema eléctrico:** Las corrientes elevadas pueden causar caídas de voltaje en la red, afectando a otros equipos conectados.
- **Sobrecarga térmica:** La corriente elevada genera más calor en los devanados del motor, lo que podría dañar el aislamiento del motor si no se controla adecuadamente.
- **Impacto en los componentes mecánicos:** El par elevado durante el arranque puede generar esfuerzos mecánicos que reduzcan la vida útil de los componentes mecánicos del motor, como los rodamientos y el eje.

Debido a estos factores, se implementan **métodos de arranque** para reducir la corriente de arranque y controlar el par durante el proceso de puesta en marcha del motor.



2. Métodos de Arranque de Motores de Inducción

Existen varios métodos utilizados para arrancar motores de inducción, dependiendo del tipo de motor (monofásico o trifásico), el tamaño del motor y las características del sistema eléctrico. Los métodos más comunes incluyen:

1. **Arranque directo a línea (DOL)**
2. **Arranque estrella-triángulo**
3. **Arranque por autotransformador**
4. **Arranque con resistencias rotóricas (motores de rotor devanado)**
5. **Arranque suave o con variador de frecuencia (VFD)**

1. Arranque Directo a Línea (DOL)

Descripción

El **arranque directo a línea (DOL)** es el método más simple y económico de arrancar un motor de inducción. En este método, el motor se conecta directamente a la red de suministro de energía en su máxima tensión nominal desde el primer momento. Debido a que el motor recibe el voltaje total de la red, arranca con la máxima corriente y par posibles.

Ventajas

- Simplicidad en la instalación.
- Bajo costo, ya que no requiere equipos auxiliares.

Desventajas

- **Alta corriente de arranque:** La corriente inicial puede ser 5 a 7 veces la corriente nominal, lo que puede afectar negativamente al sistema eléctrico y otros equipos conectados.
- **Par elevado:** El motor genera un par de arranque elevado, lo que puede dañar componentes mecánicos sensibles.

Aplicaciones

Este método se utiliza en **motores pequeños** donde la corriente de arranque no es crítica para la red de suministro o donde se requiere un arranque rápido sin control de la corriente y el par.

2. Arranque Estrella-Triángulo

Descripción

El **arranque estrella-triángulo** es uno de los métodos más utilizados para arrancar motores trifásicos de inducción. En este método, el motor comienza en una conexión **estrella (Y)** y, una vez que alcanza aproximadamente el 80% de su velocidad nominal, se cambia la conexión a **triángulo (Δ)** para la operación normal.

Funcionamiento

1. **Conexión en estrella (Y):** Durante el arranque, los devanados del motor están conectados en estrella. En esta configuración, cada devanado recibe un **voltaje reducido** (aproximadamente el 58% del voltaje de línea). Esto reduce tanto la corriente



de arranque como el par de arranque.

2. **Conexión en triángulo (Δ):**
Una vez que el motor ha alcanzado una velocidad cercana a la nominal, los contactores cambian la configuración a triángulo. En esta configuración, los devanados reciben el **voltaje total** de la red y el motor opera a plena potencia.

Ventajas

- Reducción significativa de la **corriente de arranque** (aproximadamente un 33% de la corriente de arranque directa).
- Reducción del **par de arranque**, lo que minimiza los esfuerzos mecánicos.

Desventajas

- **Par de arranque reducido:**
Solo es aproximadamente un 33% del par de arranque en un arranque directo. Esto puede ser un problema si el motor tiene que arrancar bajo carga.
- Requiere **equipamiento adicional** (contactores y temporizadores) para realizar el cambio de estrella a triángulo.

Aplicaciones

Se utiliza en **motores trifásicos de tamaño medio** a grande, donde se desea limitar la corriente de arranque pero el motor no necesita desarrollar un par elevado en el arranque.

3. Arranque por Autotransformador

Descripción

El **arranque por autotransformador** reduce la tensión aplicada al motor durante el arranque mediante el uso de un **autotransformador**. Este dispositivo permite aplicar un porcentaje de la tensión nominal al motor en los primeros instantes del arranque.

Funcionamiento

El motor se conecta a un **autotransformador trifásico** que tiene varias derivaciones (típicamente 50%, 65%, 80% de la tensión nominal). Durante el arranque, el motor recibe una tensión reducida. A medida que el motor acelera, el autotransformador cambia de derivación hasta que finalmente el motor recibe la **tensión completa de línea**.

Ventajas

- Proporciona una **corriente de arranque** y un **par de arranque ajustables**, según la derivación utilizada.
- Mejor control de la corriente y par de arranque en comparación con el método estrella-triángulo.

Desventajas

- **Mayor costo** debido al uso del autotransformador.
- Equipos adicionales y complejidad en la instalación.

Aplicaciones



Es ideal para **motores grandes** que requieren un arranque controlado con menor corriente de arranque y un par más alto en comparación con el método estrella-triángulo.

4. Arranque con Resistencias Rotoricas (Motores de Rotor Devanado)

Descripción

Este método es específico para **motores de inducción con rotor devanado**. Durante el arranque, se insertan **resistencias externas** en el circuito del rotor para limitar la corriente y aumentar el par de arranque.

Funcionamiento

1. Al conectar el motor, las resistencias externas están conectadas en serie con los devanados del rotor.
2. A medida que el motor acelera, las resistencias se van eliminando progresivamente hasta que el motor alcanza la velocidad nominal y las resistencias se cortocircuitan, permitiendo que el rotor opere sin ellas.

Ventajas

- Proporciona un **alto par de arranque**.
- Permite un **control preciso** de la corriente y el par durante el arranque.

Desventajas

- Requiere un **rotor devanado**, lo que es más costoso y

complejo que el rotor en jaula de ardilla.

- Mayor **complejidad mecánica** y eléctrica debido a las resistencias externas.

Aplicaciones

Se utiliza principalmente en **motores de gran tamaño** que deben arrancar bajo una carga pesada, como en grúas, ascensores y molinos.

5. Arranque Suave o con Variador de Frecuencia (VFD)

Descripción

El **arranque suave** o mediante un **variador de frecuencia (VFD)** permite un arranque controlado del motor de inducción al variar gradualmente la **frecuencia** y la **tensión** de la alimentación.

Funcionamiento

- El VFD controla tanto la frecuencia como el voltaje aplicado al motor, comenzando desde cero y aumentándolos progresivamente. Esto permite que el motor arranque sin las corrientes elevadas típicas de otros métodos.
- El **arranque suave** es una versión más sencilla de este principio, donde solo se controla el voltaje de arranque para reducir la corriente inicial.

Ventajas



- **Corriente de arranque mínima:** El arranque es extremadamente suave, evitando picos de corriente.
- **Control preciso** de la velocidad y el par durante todo el proceso de arranque.
- Proporciona un excelente control del **par motor**.

Desventajas

- **Costo elevado** en comparación con otros métodos de arranque.

- Mayor **complejidad de instalación y mantenimiento**, especialmente con el uso de VFD.

Aplicaciones

Es utilizado en **aplicaciones donde el control de velocidad** y la minimización de la corriente de arranque son críticos, como en bombas, ventiladores y cintas transportadoras.



CUESTIONARIO CAPITULO 4

1. ¿Qué parámetro influye directamente en el par de un motor de inducción?

- a) Velocidad angular
- b) Corriente eléctrica
- c) Tensión aplicada
- d) Todos los anteriores

2. ¿Cuál es el valor típico de la corriente de arranque en un motor de inducción en comparación con la corriente nominal?

- a) Igual
- b) Entre 1 y 2 veces
- c) Entre 5 y 7 veces
- d) Entre 10 y 12 veces.

3. ¿Cuál es el método de arranque más simple para motores de inducción?

- a) Arranque suave
- b) Estrella-triángulo
- c) Directo a línea (DOL)
- d) Autotransformador.

4. El par de un motor de inducción en condiciones normales de operación está relacionado principalmente con:

- a) El factor de potencia
- b) El deslizamiento
- c) La resistencia del rotor
- d) La frecuencia de la red.

6. ¿Qué configuración se usa al principio en un arranque estrella-triángulo?

- a) Conexión en triángulo
- b) Conexión en estrella
- c) Conexión directa
- d) Conexión en paralelo



EJERCICIOS CAPITULO 4

1. Un motor de inducción trifásico tiene una potencia nominal de 5 kW y un par nominal de 32 Nm. Si la velocidad del motor es de 1500 rpm, ¿cuál es la potencia mecánica entregada por el motor?

- a) 4.71 kW
- b) 3.14 kW
- c) 7.85 kW
- d) 5.02 kW

2. Un motor de inducción tiene un par de arranque de 150 Nm y opera con un deslizamiento del 5%. Si la velocidad síncrona es de 1800 rpm, ¿cuál será la velocidad del rotor?

- a) 1710 rpm
- b) 1700 rpm
- c) 1725 rpm
- d) 1680 rpm

3. Un motor de inducción tiene una eficiencia del 90% y consume 10 kW de potencia eléctrica. ¿Cuál es la potencia mecánica de salida?

- a) 9 kW
- b) 10 kW
- c) 8 kW
- d) 11 kW

4. Un motor de inducción trifásico tiene una corriente de arranque 6 veces mayor que su corriente nominal. Si su corriente nominal es de 10 A, ¿cuál será su corriente de arranque?

- a) 60 A
- b) 30 A
- c) 50 A
- d) 15 A

5. Un motor de inducción arranca mediante un autotransformador, utilizando una derivación al 65% del voltaje. Si la corriente de arranque sin el autotransformador es de 120 A, ¿cuál será la corriente de arranque con el autotransformador?



- a) 78 A
- b) 120 A
- c) 85 A
- d) 60 A

6. Un motor de inducción opera con una potencia de entrada de 15 kW y tiene una eficiencia del 85%. ¿Cuál es la potencia disipada en el motor en forma de pérdidas?

- a) 2.25 kW
- b) 3.75 kW
- c) 1.75 kW
- d) 4.00 kW

7. Un motor de inducción trifásico está conectado en un sistema estrella-triángulo. Si su voltaje nominal es de 400 V, ¿cuál es el voltaje en cada devanado del motor durante el arranque en configuración estrella?

- a) 400 V
- b) 230 V
- c) 690 V
- d) 100 V

8. Si el par de arranque de un motor de inducción es del 75% del par nominal y el par nominal es de 200 Nm, ¿cuál será el par de arranque?

- a) 150 Nm
- b) 175 Nm
- c) 100 Nm
- d) 200 Nm

9. Un motor de inducción trifásico tiene una frecuencia de alimentación de 60 Hz y un número de polos de 4. ¿Cuál será su velocidad síncrona?

- a) 1200 rpm
- b) 1500 rpm
- c) 1800 rpm
- d) 3600 rpm



BIBLIOGRAFÍA:

Geogebra, S. (8 de junio de 2020). Geogebra. Obtenido de <https://www.geogebra.org/material/show/id/rbwbxvhv>

Granero, A. (8 de ENERO de 2019). IMSE. Obtenido de <https://imseingenieria.blogspot.com/2019/01/principios-de-funcionamiento-de-las.html>

Santa, M. (2018). ASIng Servicios de ingeniería. Obtenido de https://www.asing.es/diagnostico_transformadores.php



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO PELILEO

ISBN: 978-9942-686-12-1



Educación gratuita y de calidad