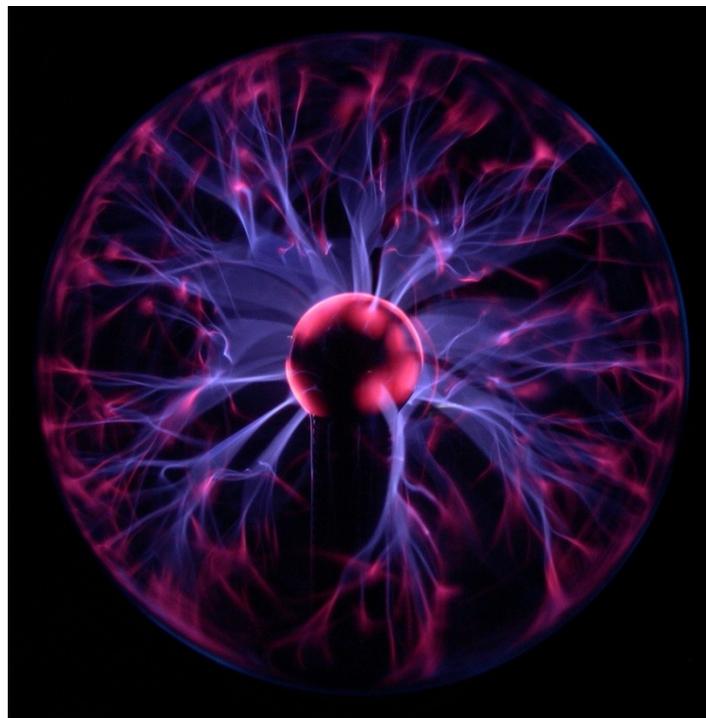


NOTAS PARA UN CURSO DE ELECTRICIDAD



JOHNY ALVAREZ SALAZAR
ELECTROMECAÁNICO ITM

CONTENIDO

<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>3</u>
<u>1. NOCIONES DE ELECTRICIDAD.....</u>	<u>4</u>
<u>2. CIRCUITOS ELECTRICOS.....</u>	<u>6</u>
<u>3. LEY DE OHM.....</u>	<u>9</u>
<u>4. LEYES DE KIRCHHOFF.....</u>	<u>12</u>
<u>5. ANALISIS DE MALLAS NODAL.....</u>	<u>16</u>
<u>6. CAPACITORES E INDUCTORES.....</u>	<u>19</u>
<u>7. ANALISIS DE POTENCIA DE CORRIENTE ALTERNA.....</u>	<u>25</u>
<u>8. CIRCUITOS RESIDENCIALES E INDUSTRIALES.....</u>	<u>29</u>
<u>9. TRANSFORMADORES.....</u>	<u>36</u>
<u>10. MAQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA.....</u>	<u>38</u>
<u>11. MAQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA.....</u>	<u>47</u>

INTRODUCCIÓN

En nuestro común día a día nos preguntamos qué sería de nosotros sin las comodidades y facilidades que nos da la electricidad. Vemos como se ha convertido en algo tan imprescindible y tan básico, que nuestra vida se modificaría notablemente si no contáramos con ella para realizar todas las actividades cotidianas.

Es por ello que como mínimo debemos conocer cómo utilizarla de una forma adecuada. Y como más que conociendo de qué forma a través del tiempo llego a nosotros, quienes y en qué forma se convirtieron en los precursores y su posterior descubrimiento y mejoramiento hasta nuestra contemporaneidad.

Estas notas están dedicadas a todo aquel que se interese por este maravilloso mundo, el que hace que cada vez tengamos una mejor manera de hacer nuestros trabajos y que nos brinda la oportunidad de tener comodidades inimaginables para nuestros antecesores.

De una manera general, entonces, se resaltara desde sus comienzos y se enfatizara en su generación, transporte y posterior uso tanto en nuestro hogar como en la industria.

Partiendo de la importancia del conocimiento de la energía y su clasificación: mecánica, potencial, cinética, eléctrica y otras. Y aceptando que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma, profundizaremos como estas transformaciones, sobre todo en el campo eléctrico, nos permiten darle utilidad en un sin número de aplicaciones.

Nos limitaremos a la aplicación de las leyes y principios que rigen su funcionamiento, asegurando que de una manera racional se entiendan todos y cada uno de sus procesos. Pero sin hacer uso de la explicación matemática exacta y completa, que la dejaremos para nuestros ingenieros, encargados de solucionar los inconvenientes y proveernos de una manera eficiente el servicio de energía eléctrica.

De una manera práctica, se puede relacionar la electricidad con el desplazamiento de agua en una manguera: La corriente, q/s, como flujo del agua; El voltaje como la presión con la que va el fluido; y la resistencia con el diámetro de la manguera.

Así, si se disminuye el diámetro, aumenta la resistencia al paso de agua. Si se mantiene la fuerza de empuje constante, al disminuir el diámetro, la presión aumentara. De la fórmula $P=F/A$.

1. NOCIONES DE ELECTRICIDAD

La palabra electricidad viene del griego elektron, que significa ámbar.

Forma de energía basada en una propiedad fundamental de la materia, que se manifiesta por la atracción o repulsión entre sus partes, originada por la existencia de electrones, con carga negativa, o protones, con carga positiva. Que puede manifestarse en reposo, como electricidad estática, o en movimiento, como corriente eléctrica, y que da lugar a luz, calor, campos magnéticos, etc.

La ley de conservación de la carga establece que la carga no puede ser creada ni destruida, solo transferida.

SISTEMA DE UNIDADES

Unidad básica	Símbolo	Definición	Unidad de medida
Carga eléctrica	q	Propiedad eléctrica de las partículas atómicas de las que se compone la materia.	C: Coulomb En 1C, hay 6.24×10^{18} electrones.
Corriente	I	Velocidad de cambio de la carga respecto al tiempo.	A: Amperio
Voltaje Caída de tensión. Potencial	V	Energía requerida para mover un Coulomb de carga a través de un elemento.	V: Voltios
Potencia	p	Variación respecto al tiempo de la entrega de energía.	W: Vatios
Resistencia	R	Oposición al paso de corriente, que opone un material.	Ω : Ohmio
Energía	E	Capacidad para realizar un trabajo.	J: joule
Fuerza	F	Acción que un cuerpo ejerce sobre otro.	N: Newton

CARGA Y CORRIENTE

La carga es la cantidad básica en un circuito eléctrico, es el principio fundamental para explicar todos los fenómenos eléctricos.

Gracias a la física elemental sabemos que toda la materia se compone de bloques constitutivos fundamentales conocidos como átomos y que cada átomo consta de electrones, protones y neutrones. También se sabe que la carga eléctrica de un electrón es negativa e igual en magnitud a 1.602×10^{-19} , en tanto que un protón lleva una carga positiva de la misma magnitud que la del electrón. La presencia de igual número de protones y electrones, deja un átomo cargado neutralmente.

Se considera ahora el flujo de las cargas eléctricas. Una característica peculiar en la electricidad es el hecho de que es móvil. Puede ser transferida de un lugar a otro, donde puede ser convertida en otra forma de energía.

Este movimiento de las cargas crea lo que denominamos **corriente eléctrica**, la velocidad de este movimiento es a lo que llamamos corriente y puede ser medida en amperios. En honor al matemático y físico francés, André-Marie Ampère (1775- 1836).

Con una serie de experimentos sencillos, se determino que existen dos tipos de cargas eléctricas, a las que Benjamín Franklin (1706 – 1790) les dio el nombre de positiva y negativa. Los electrones poseen carga negativa y los protones positiva. Para comprobar la existencia de ambos tipos de carga, imagine una varilla rígida de hule que ha sido frotada a un trozo de piel. Cuando a una varilla de vidrio, que ha sido frotada en seda, se le acerca la varilla de hule, ambas se atraen entre sí. Y si se acercan dos varillas de hule se repelen. Esto es porque cuando se frota la varilla de vidrio con la seda, se transfieren electrones del vidrio a la seda. Debido a la conservación de la carga, cada electrón añade carga negativa a la seda, y una cantidad igual de carga positiva queda atrás en la varilla.

LEY DE COULOMB

Charles Coulomb (1736 – 1806) midió las magnitudes de las fuerzas eléctricas utilizando la balanza de torsión. Y dedujo la siguiente fórmula para fuerza eléctrica.

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}; \text{ Donde } k_e = 8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

r = distancia entre una carga y otra.

Nota: Para los cálculos de estas fuerzas rige la teoría de vectores.

CAMPOS ELECTRICOS

Un campo eléctrico es la zona en el espacio, en la cual se rodea como mínimo a una carga eléctrica.

Cuando en este campo se encuentra una carga pequeña q_0 , esta experimenta un campo eléctrico E.

$$E = \frac{F_e}{q_0}$$

2. CIRCUITOS ELECTRICOS

El término se utiliza principalmente para definir un trayecto continuo compuesto por conductores y dispositivos conductores, que incluye una fuente de fuerza electromotriz que transporta la corriente por el circuito. Un circuito de este tipo se denomina circuito cerrado, y aquéllos en los que el trayecto no es continuo se denominan abiertos. Un cortocircuito es un circuito en el que se efectúa una conexión directa, sin resistencia, inductancia ni capacitancia apreciables, entre los terminales de la fuente de fuerza electromotriz.

ELEMENTOS DE CIRCUITOS

Un circuito eléctrico consta de elementos conectados entre sí.

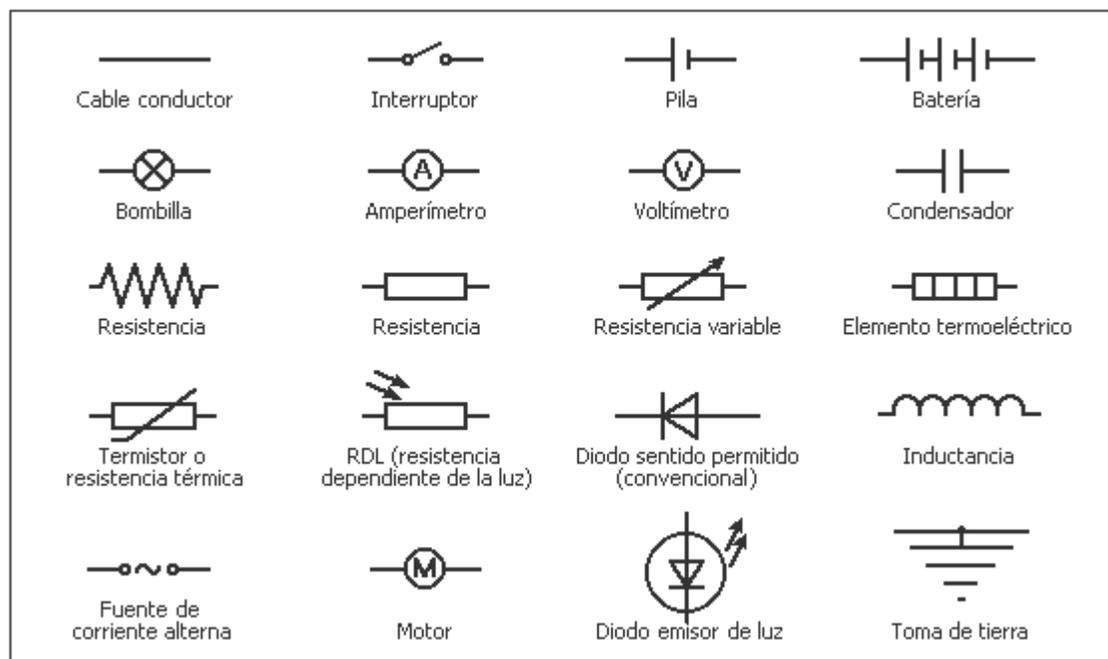
Hay dos tipos de elementos en los circuitos eléctricos:

Elementos activos, capaces de generar energía. Ej. Los generadores, las baterías o fuentes de tensión.

Elementos pasivos, no genera energía. Ej. Los resistores, capacitores, bobinas.

Nota: Una fuente independiente ideal de tensión suministra al circuito la corriente necesaria para mantener su tensión entre las terminales.

Algunos símbolos de circuitos eléctricos



POTENCIAL ELECTRICO, POTENCIA Y ENERGÍA

Potencia: es la rapidez con la que se desarrolla un trabajo. O energía por unidad de tiempo.
Energía es la capacidad para producir un cambio.

Aunque corriente y tensión son las dos variables básicas en un circuito eléctrico, no son suficientes por sí mismas. Para efectos prácticos se necesita saber cuánta potencia puede manejar un dispositivo eléctrico.

$$P = VI$$

Potencia es igual a Diferencia de potencial por corriente y se expresa en W, vatios.

El potencial eléctrico es solo una característica del campo eléctrico, independientemente de cualquier carga q_0 , que pueda estar colocada en el campo.

$$V = \frac{U}{q_0} = Es \quad \text{Donde } s, \text{ es la distancia entre los puntos en cuestión.}$$

Esto quiere decir que:

$$1V = \frac{1J}{C}$$

Nota: la diferencia de potencial se calcula integrando el campo y el diferencial de distancia entre dos puntos A y B, la magnitud de esta distancia es la que se conoce como s.

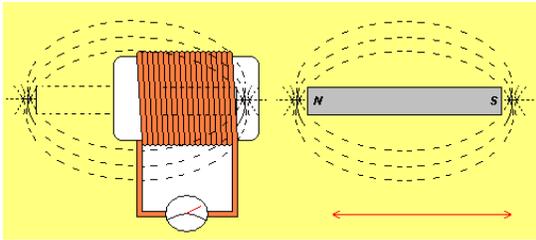
LEY DE FARADAY

La Ley de Faraday establece que la corriente inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético que lo atraviesa

La inducción electromagnética fue descubierta casi simultáneamente y de forma independiente por Michael Faraday y Joseph Henry en 1830. La inducción electromagnética es el principio sobre el que se basa el funcionamiento del generador eléctrico, el transformador y muchos otros dispositivos.

Supongamos que se coloca un conductor eléctrico en forma de circuito en una región en la que hay un campo magnético. Si el flujo F a través del circuito varía con el tiempo, se puede observar una corriente en el circuito (mientras el flujo está variando). Midiendo la fuerza electromotriz inducida se encuentra que depende de la rapidez de variación del flujo del campo magnético con el tiempo.

INDUCCIÓN: Es la influencia ejercida por un campo magnético, sobre cuerpos o conductores cercanos a este.



3. LEY DE OHM

Georg Simon Ohm (1787 – 1854) físico alemán, establece en 1827, que la tensión V a lo largo de un resistor R , es directamente proporcional a la corriente I , que fluye a través del resistor.

$V = I R$ Donde R es medida en ohmios.

La resistencia R de un elemento denota su capacidad para resistirse al flujo de la corriente eléctrica. Depende de la resistividad del material (ρ), de su longitud y de su área A .

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Resistividad de materiales comunes

Material	Resistividad (Ωm)	Uso
Plata	1.6×10^{-8}	Conductor
Cobre	1.72×10^{-8}	Conductor
Aluminio	2.8×10^{-8}	Conductor
Oro	2.45×10^{-8}	Conductor
Carbón	4×10^{-5}	Semiconductor
Germanio	47×10^{-2}	Semiconductor
Silicio	6.4×10^{-2}	Semiconductor
Papel	10^{10}	Aislante
Mica	5×10^{11}	Aislante
Vidrio	10^{12}	Aislante
teflón	3×10^{12}	Aislante

Un cortocircuito es un elemento de circuito con resistencia que se aproxima a cero.

Un circuito abierto es un elemento del circuito con resistencia que tiende al infinito.

El amperaje en un circuito eléctrico se ha comparado con un flujo de agua por un conducto, cuanto más caudal de agua, mayor presión, otro factor que influye es el grosor del conducto. Si el conducto es reducido el agua contiene más presión pero su caudal será menor. Si por el contrario, el conducto es mayor, la cantidad de agua será, por lo mismo mayor pero a menor presión. Lo mismo sucede con un conductor eléctrico, si su calibre (grosor) es reducido, la corriente encontrará resistencia u oposición a su paso, si el calibre es mayor, fluirá de forma libre con menor resistencia.

Voltaje

El voltaje, tensión, también diferencia de potencial, se le denomina a la fuerza electromotriz (FEM) que ejerce una presión o carga en un circuito eléctrico cerrado sobre los electrones, completando con esto un circuito eléctrico. Esto da como resultado el flujo de corriente eléctrica. Cuanto mayor sea la presión ejercida de la fuerza electromotriz sobre los electrones o cargas eléctricas que circulan por el conductor, en esa medida será el voltaje o tensión que existirá en el circuito.

Frecuencia

La frecuencia es la cantidad de ciclos completos en una corriente eléctrica y se calculan por segundo, por ejemplo, la corriente alterna oscila o cambia con una frecuencia de 50 ó 60 ciclos por segundo.

La unidad para medir estos ciclos es el Hertz (Hz) y debe su nombre al físico alemán **Heinrich Rudolf Hertz**, quien en 1888 demostró la existencia de las ondas electromagnéticas. Por ejemplo un Hertz o Hertzio es un ciclo por segundo.

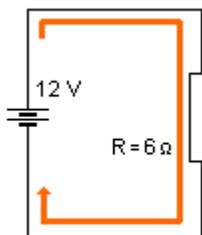
Explicación de la ley de Ohm

La **Ley de Ohm** se puede entender con facilidad si se analiza un circuito donde están en serie, una fuente de voltaje (una batería de 12 voltios) y una resistencia de 6 ohms (ohmios). Se puede establecer una relación entre la voltaje de la batería, el valor de la resistencia y la corriente que entrega la batería y que circula a través de dicha resistencia.

Esta relación es: $I = V / R$ y se conoce como la **Ley de Ohm**.

Entonces la corriente que circula por el circuito (por la resistencia o resistor) es: $I = 12 \text{ Voltios} / 6 \text{ ohms} = 2 \text{ Amperios}$.

De la misma manera, de la fórmula se puede despejar la tensión en función de la corriente y la resistencia, entonces la **Ley de Ohm** queda: $V = I * R$. Así si se conoce la corriente y la resistencia se puede obtener la tensión entre los terminales de la resistencia, así: $V = 2 \text{ Amperios} * 6 \text{ ohms} = 12 \text{ V}$

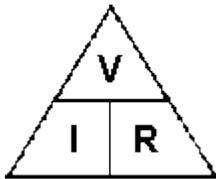


Al igual que en el caso anterior, si se despeja la resistencia en función del voltaje y la corriente, y se obtiene la **Ley de Ohm** de la forma: $R = V / I$.

Entonces si se conoce la tensión en la resistencia y la corriente que pasa por ella se obtiene que: $R = 12 \text{ Voltios} / 2 \text{ Amperios} = 6 \text{ ohms}$

Es interesante ver que la relación entre la corriente y la tensión en una resistencia siempre es lineal y la pendiente de esta línea está directamente relacionada con el valor de la resistencia. Así, a mayor resistencia mayor pendiente.

Para recordar las tres expresiones de la **Ley de Ohm** se utiliza el siguiente triángulo que tiene mucha similitud con las fórmulas analizadas anteriormente.



Triángulo de la ley de Ohm

$$V = I \times R \quad I = V / R \quad R = V / I$$

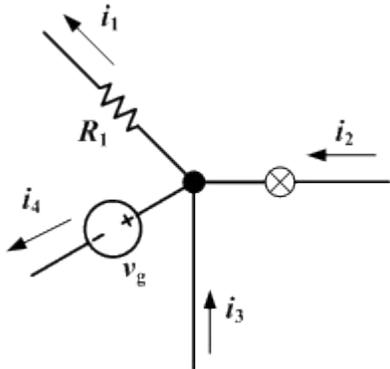
Se dan 3 Casos:

- **Con la resistencia fija.** La corriente sigue a la tensión. Un incremento en la tensión, significa un incremento en la corriente y un incremento en la corriente significa un incremento en la tensión.
- **Con el voltaje fijo.** Un incremento en la corriente, causa una disminución en la resistencia y un incremento en la resistencia causa una disminución en la corriente.
- **Con la corriente fija.** El voltaje sigue a la resistencia. Un incremento en la resistencia, causa un incremento en el voltaje y un incremento en el voltaje causa un incremento en la resistencia.

El voltaje y la corriente son directamente proporcionales, al actuar la resistencia como coeficiente de proporcionalidad, puedo concluir que: Si aumento considerablemente a R, dejando I (corriente) constante o volviéndola más pequeña, necesariamente para conservar la igualdad se me ve aumentado V (voltaje).

4. LEYES DE KIRCHHOFF

Ley de los nodos o ley de corrientes de Kirchhoff



1a. Ley de circuito de Kirchhoff

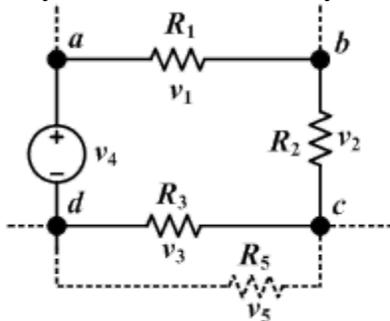
En todo nodo, donde la densidad de la carga no varíe en un instante de tiempo, la suma de corrientes entrantes es igual a la suma de corrientes salientes.

Un enunciado alternativo es:

En todo nodo la suma algebraica de corrientes debe ser 0 (cero).

$$\sum_{k=1}^n I_k = I_1 + I_2 + I_3 \dots + I_n = 0$$

Ley de las "mallas" o ley de tensiones de Kirchhoff



2a. Ley de circuito de Kirchhoff

En toda malla la suma de todas las caídas de tensión es igual a la suma de todas las subidas de tensión.

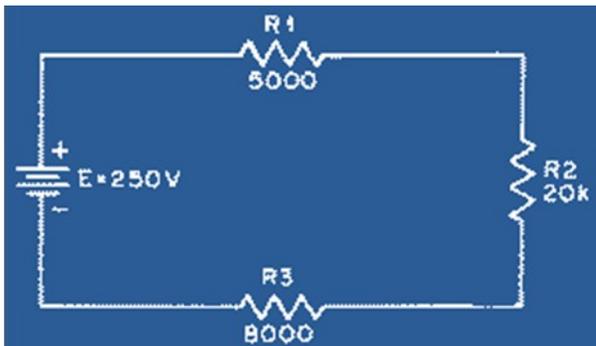
Un enunciado alternativo es:

En toda malla la suma algebraica de las diferencias de potencial eléctrico debe ser 0 (cero).

$$\sum_{k=1}^n V_k = V_1 + V_2 + V_3 \dots + V_n = 0$$

Explicación de las leyes de Kirchhoff

La ley de Ohm se aplica a cualquier parte del circuito tanto como al circuito completo. Puesto que la corriente es la misma en las tres resistencias de la figura, la tensión total se divide entre ellas.



La tensión que aparece a través de cada resistencia (la caída de tensión) puede obtenerse de la ley de Ohm.

Ejemplo: Si la tensión a través de R1 la llamamos E1, a través de R2, E2, y a través de R3, E3, entonces:

$$E1 = I \times R1 = 0,00758 \times 5000 = 37,9 \text{ V}$$

$$E2 = I \times R2 = 0,00758 \times 20.000 = 151,5 \text{ V}$$

$$E3 = I \times R3 = 0,00758 \times 8000 = 60,6 \text{ V}$$

La primera ley de Kirchhoff describe con precisión la situación del circuito: La suma de las tensiones en un circuito de corriente cerrado es cero. Las resistencias son sumideros de potencia, mientras que la batería es una fuente de potencia, por lo que la convención de signos descrita anteriormente hace que las caídas de potencial a través de las resistencias sean de signo opuesto a la tensión de la batería. La suma de todas las tensiones da cero. En el caso sencillo de una única fuente de tensión, una sencilla operación algebraica indica que la suma de las caídas de tensión individuales debe ser igual a la tensión aplicada.

$$E = E1 + E2 + E3$$

$$E = 37,9 + 151,5 + 60,6$$

$$E = 250 \text{ V}$$

En problemas como éste, cuando la corriente es suficientemente pequeña para ser expresada en miliamperios, se puede ahorrar cantidad de tiempo y problemas expresando la resistencia en kilo ohms mejor que en ohms. Cuando se sustituye directamente la resistencia en kilo ohms en la ley de Ohm, la corriente será en miliamperios si la FEM está en voltios.

En un circuito con resistencias en paralelo, la resistencia total es menor que la menor de las resistencias presentes. Esto se debe a que la corriente total es siempre mayor que la corriente en cualquier resistencia individual. La fórmula para obtener la resistencia total de resistencias en paralelo es

$$R = 1 / (1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3) + \dots$$

Donde los puntos suspensivos indican que cualquier número de resistencias pueden ser combinadas por el mismo método.

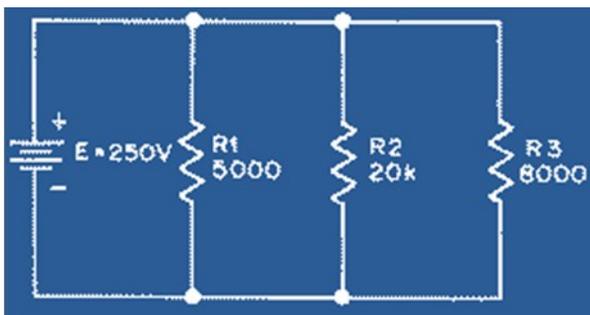
En el caso de dos resistencias en paralelo (un caso muy común), la fórmula se convierte en

$$R = R_1 \times R_2 / R_1 + R_2$$

Ejemplo: Si una resistencia de 500 O está en paralelo con una de 1200 O, la resistencia total es:

$$R = 500 \times 1200 / 500 + 1200 = 600000 / 1700 = 353$$

Hay otra solución para el problema. Suponga que las tres resistencias del ejemplo anterior se conectan en paralelo como se muestra en la figura.



La misma FEM, 250 V, se aplica a todas las resistencias.

La corriente en cada una puede obtenerse de la ley de Ohm como se muestra más abajo, siendo I_1 la corriente a través de R_1 , I_2 la corriente a través de R_2 , e I_3 la corriente a través de R_3 .

Por conveniencia, la resistencia se expresará en kilo ohms, por tanto la corriente estará en miliamperios.

$$I_1 = E / R_1 = 250 / 5 = 50 \text{mA}$$

$$I_2 = E / R_2 = 250 / 20 = 12,5 \text{mA}$$

$$I_3 = E / R_3 = 250 / 8 = 31,25 \text{mA}$$

La corriente total es

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + I_3 = 50 + 12,5 + 31,25 = 93,75 \text{mA}$$

Este ejemplo ilustra la ley de corriente de Kirchhoff.

"La corriente que circula hacia un nodo o punto de derivación es igual a la suma de las corrientes que abandonan el nodo o derivación."

Por tanto, la resistencia total del circuito es:

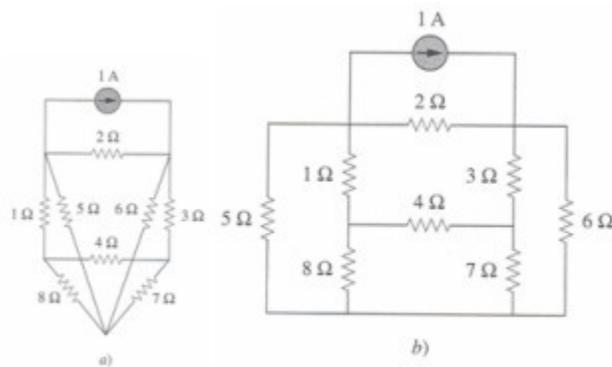
$$R_{\text{total}} = E / I = 250 / 93,75 = 2,667 \text{ KO}$$

5. ANALISIS DE MALLAS NODAL

El análisis de malla proporciona otro procedimiento general para analizar las corrientes de malla como las variables de circuito.

El empleo de corrientes en mallas, en lugar de corrientes de elementos, como variables de circuito es conveniente y reduce el número de ecuaciones que deben resolverse de manera simultánea.

El análisis nodal usa LCK para determinar voltajes desconocidos en un circuito dado, mientras que el análisis de malla utiliza LVK para encontrar corrientes desconocidas. El análisis de malla solo es aplicable en circuitos con disposición plana. Un circuito de este tipo es aquel que puede dibujarse en un plano sin ramas que se crucen entre sí; en cualquier otro caso, el circuito no es de disposición plana. Un circuito quizás tenga ramas que se cruzan y siga siendo de disposición plana, si puede volverse a dibujar de manera que las ramas dejen de cruzarse.



a) Circuito con disposición plana con ramas que se cruzan, b) el mismo circuito dibujando de nuevo pero sin ramas

Una malla es un lazo que no contiene cualesquiera otros lazos dentro de ella.

En la siguiente figura, las trayectorias *abefa* y *bcdeb* son mallas, pero *abcdefa* no lo es. La corriente que circula por una malla se conoce como corriente de malla. En el análisis de malla, se aplica LVK para determinar las corrientes de mallas en un circuito determinado.

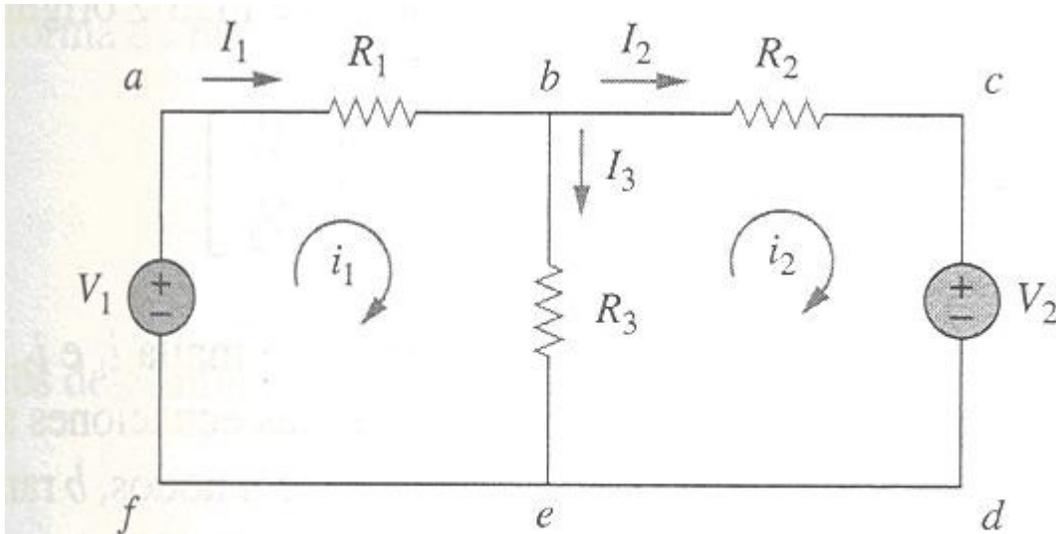


Figura 3.17 Circuito con dos mallas.

PASOS PARA DETERMINAR LAS CORRIENTES DE MALLA:

1. Asignar las corrientes de malla i_1, i_2, \dots, i_n a las n mallas.
2. Aplicar LKV a cada una de las n mallas. Usar la ley de Ohm para expresar los voltajes en términos de las corrientes de malla.
3. Resolver las n ecuaciones resultantes para obtener las corrientes de malla.

Por ejemplo:

Tomando la figura 3.17 el primer paso requiere que las corrientes de malla i_1 e i_2 se asignen a las mallas 1 y 2. Como segundo paso, se aplica LKV a cada malla.

Malla 1, aplicando LKV:

$$-V_1 + R_1(i_1) + R_3(i_1 - i_2) = 0$$

$$(R_1 + R_3)(i_1) - R_3(i_2) = V_1 \quad (1)$$

Malla 2, aplicando LKV:

$$R_2(i_2) + V_2 + R_3(i_2 - i_1) = 0$$

$$-R_3(i_1) + (R_2 + R_3)(i_2) = -V_2 \quad (2)$$

El tercer paso consiste en resolver respecto de las corrientes de malla. El arreglo de las ecuaciones (1) y (2) en forma de matriz:

$$\begin{vmatrix} R_1+R_3 & -R_3 \\ -R_3 & R_2+R_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} i_1 \\ i_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} V_1 \\ -V_2 \end{vmatrix}$$

Este es el planteamiento para resolver el sistema de ecuaciones por el método de matrices. Pero se puede utilizar cualquier método. Partiendo de las ecuaciones anteriores:

$$(R_1+R_3)(i_1)-R_3(i_2)=V_1 \quad (1)$$

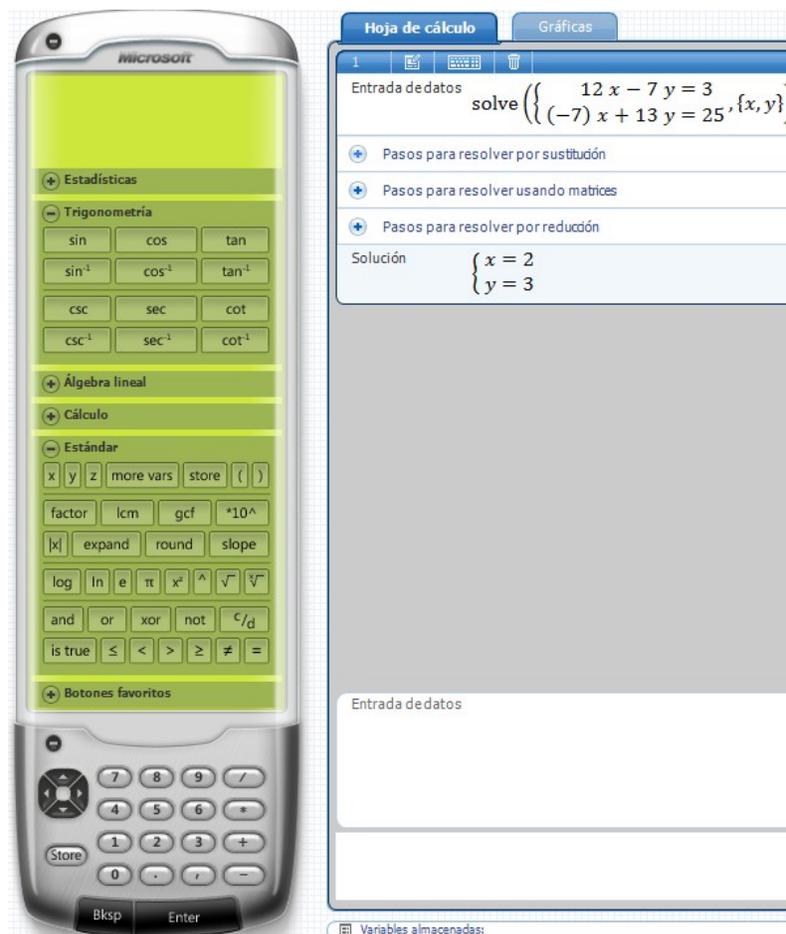
$$-R_3(i_1)+(R_2+R_3)(i_2)=-V_2 \quad (2)$$

Ejemplo:

Si $R_1=5$, $R_2=6$, $R_3=7$, $V_1=3$, $V_2=-25$

Hallar: i_1 , i_2

Solución en calculadora de ecuaciones:



The image shows a Microsoft calculator interface with a system of linear equations being solved. The equations are:

$$\begin{cases} 12x - 7y = 3 \\ (-7)x + 13y = 25 \end{cases}$$

The solution is:

$$\begin{cases} x = 2 \\ y = 3 \end{cases}$$

The calculator interface includes a keypad with various mathematical functions and a display area showing the input and output.

6. CAPACITORES E INDUCTORES

Capacitores:

Un capacitor es un componente electrónico que almacena energía. En términos simples. Un capacitor puede verse como una batería muy pequeña y de baja capacidad.

Diferentes tipos de capacitores. A la izquierda están dos capacitores cerámicos, seguidos por tres capacitores dieléctricos, y a la derecha se encuentran tres capacitores cerámicos, pero con forma de disco. A estos últimos muchas veces se les conoce como capacitores de disco cerámico o botón.



Un capacitor consta de dos partes principales. La primera es un par de placas metálicas. Estas placas metálicas se encuentran separadas unas fracciones de milímetro, y cada una va conectada a una terminal diferente del circuito (o sea, una placa es positiva y otra negativa). Entre estas dos placas hay un material no conductor, que se llama dieléctrico. El dieléctrico evita el paso de corriente entre una placa y otra.

Cuando se conecta un capacitor a una fuente, la corriente trata de pasar de una placa a otra, pero encuentra el paso bloqueado por el dieléctrico. En este momento se comienza a formar un campo eléctrico entre las placas, que almacena la energía suministrada. Cuando el campo eléctrico se estabiliza, se dice que el capacitor está cargado y ya no consume más corriente.

En este momento el capacitor puede actuar como una batería: si se conecta a una resistencia, la energía que tiene almacenada se descarga a través de la resistencia. Esta descarga dura solo unas fracciones de segundo, dada la baja capacidad que tienen los capacitores.

Los capacitores deben ser tratados con igual cuidado que una batería, ya que pueden almacenar y descargar energía de la misma forma. Existen capacitores de muy alto voltaje, que pueden almacenar una carga breve, pero lo suficientemente intensa para matar al descuido que toque sus terminales!

Los capacitores se clasifican de acuerdo con el material que usen como dieléctrico. Existen algunos materiales que funcionan mejor que otros, materiales que funcionan solo con corriente alterna. Materiales de corriente directa, etc. De los capacitores usados en radios, la gran mayoría son cerámicos o electrolíticos. Los capacitores electrolíticos son polarizados, lo cual significa que en un circuito de corriente directa siempre debe conectarse su terminal negativa a la terminal negativa de la fuente. También existen capacitores de mica plateada, de poliestireno, de policarbonato, o incluso capacitores al vacío.

Todo capacitor tiene una capacitancia y un voltaje de trabajo. La capacitancia se mide en Faradios (o más comúnmente en Microfaradios) y nos indica cuánta energía puede almacenar el capacitor (entre más J.L.F. más energía). El voltaje de trabajo nos indica cuánto es el voltaje máximo que aguanta el capacitor sin dañarse.

Reactancia capacitiva:

Los capacitores tienen una propiedad de funcionamiento que los hace oponerse a cambios rápidos en voltaje o corriente dentro de un circuito. Cuando dentro de un circuito se trata de cambiar el voltaje, el capacitor reacciona absorbiendo o liberando energía para mantener estable el voltaje del circuito. Esto genera un fenómeno similar a la resistencia. Que se conoce como reactancia capacitiva, y que se mide en ohms. La reactancia se presenta solo en circuitos de corriente alterna. y se puede calcular como:

$$x_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

Donde π es una constante igual a 3.14. ; f es la frecuencia de la corriente en Hertz (Hz). y c es la capacitancia en faradios del capacitor.

Es importante ver que la capacitancia en la fórmula anterior se da en faradios, no en microfaradios. Se debe convertir siempre la capacitancia a faradios antes de utilizarla en la fórmula.

Capacitores en serie y paralelo:

No es necesario profundizar mucho en el cálculo de capacitores en **serie** y **paralelo**. Debido a que el procedimiento es idéntico al utilizado en el caso de las resistencias. Siempre se resuelve de afuera hacia adentro, convirtiendo las series en paralelos para resolver el circuito.

Lo que si vale la pena mencionar es que las fórmulas son las mismas con una pequeña diferencia: **la fórmula que en resistencias es para series en capacitores se usa para paralelos, y la que en resistencias es para paralelos se usa en capacitores para series.**

Para capacitores en serie:

$$C_{eq} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$
$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$$

Y para capacitores en paralelo:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

INDUCTORES

Algunas aplicaciones de los inductores frecuentemente halladas en los equipos radio: A la izquierda: Latas de inducción para ajuste de osciladores, y a la derecha: Transformadores de voltaje para diferentes usos.



Hace algunos siglos se descubrió que en todo conductor por el que fluye una corriente genera a su alrededor un campo magnético. Este campo es, por lo general. Bastante débil. Sin embargo si tomamos el conductor y lo doblamos en espiral. Como un resorte, en el centro del espiral se empieza a hacer más intenso el campo.

Un inductor es un componente que aprovecha este fenómeno para almacenar energía. Es similar al capacitor, con la excepción de que en vez de generar en su interior un campo eléctrico, genera un campo magnético. Un inductor puede ser tan simple como un alambre con forma de resorte o tan complejo como el embobinado de un motor.

Los inductores, junto a las resistencias y a los capacitores forman la base de los circuitos oscilantes, llamados también circuitos RLC. Estos circuitos son los que permiten generar la radiofrecuencia.

La intensidad del campo magnético que puede crear un inductor se llama su inductancia, y se mide en Henrio (H).

Reactancia inductiva:

La otra clase de reactancia existente en los componentes electrónicos es la reactancia inductiva. La reactancia inductiva es una oposición a los cambios en corriente que se producen en los inductores, y es causada por el campo magnético que se genera en estos componentes.

La reactancia inductiva se mide en ohms y puede calcularse de la siguiente manera:

$$x_L = 2\pi fL$$

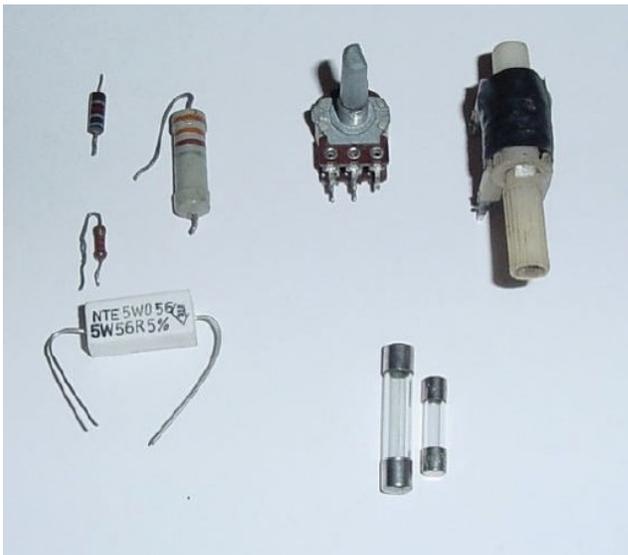
En este caso π es equivalente a 3.14. f es la frecuencia de la corriente en Hz y L es la inductancia en Henry. Al igual que con la capacitancia. Si en vez de Henry tenemos mili Henrio (mH). Debemos convertir a Henrio antes de poder aplicar la fórmula.

Resistencias:

Cuando hablamos de la Ley de Ohm, vimos que la resistencia era una propiedad de los materiales que hacía que se opusieran al paso de corriente eléctrica. Esta propiedad ha sido aprovechada para crear un componente electrónico con el mismo nombre (resistencia).

La resistencia es un componente que se encarga de limitar la cantidad de corriente que puede pasar a través de un circuito, convirtiendo el exceso en calor.

Diferentes tipos de resistencias. Las resistencias de la izquierda son resistencias de carbón de distintos aloies. La resistencia rectangular es también una resistencia de carbón, pero de alta potencia (5W). Las dos resistencias de la derecha superior son potenciómetros, y debajo de ellos se encuentran dos fusibles, que son una especie de resistencia de protección para circuitos.



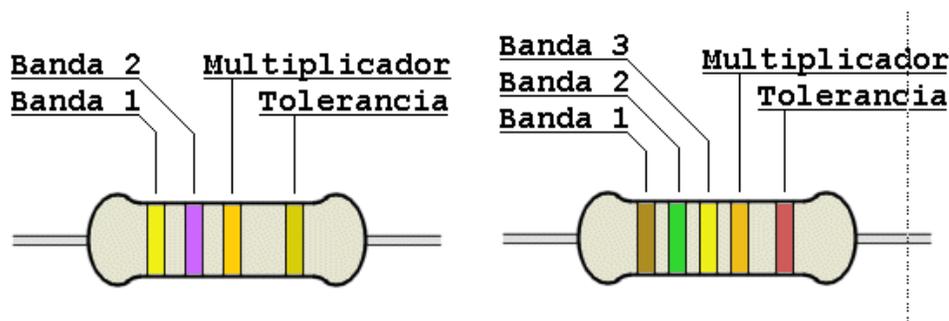
La resistencia de un material depende de varias propiedades. Que pueden ser combinadas para lograr componentes de diferentes valores:

- El material: un material posee una resistencia natural, que lo hace más o menos conductor. Esto es aprovechado para fabricar distintos tipos de resistencias, por ejemplo las de carbón. Las de nicromio (níquel + cromo), o las de una aleación denominada Eureka.
- La longitud: entre **más** largo sea un conductor, mayor resistencia tendrá. Esta propiedad tiene poca importancia en electrónica, ya que la mayor parte de las resistencias son bastante pequeñas.
- La sección transversal: la sección transversal de un conductor es la forma que tiene al cortarlo. Por ejemplo un alambre cilíndrico posee una sección circular si se corta. Entre más grande sea el área de esta sección (por ejemplo entre más grueso sea el alambre) menor resistencia tendrá el material.
- La temperatura: conforme se va calentando un conductor, aumenta su resistencia. Por esta razón es que un conductor sometido a demasiada corriente puede llegar a fundirse: el conductor se va calentando, y conforme aumenta su resistencia se calienta más hasta fundirse.

La capacidad que tiene una resistencia para disipar corriente en forma de calor se llama la potencia de la resistencia. Los valores más típicos de potencia en electrónica son $1/4$ y $1/2$ watt. Pero existen valores mayores. Incluso de varios miles de watts. Al sustituir una resistencia. Debemos siempre verificar que tengamos un valor de potencia mayor o igual a la original. Nunca debemos sustituir por una resistencia de menor valor.

Un fusible es una especie de resistencia, cuya función es destruirse en caso de que algo dentro del circuito funcione mal. En este caso se produce un exceso de corriente en el fusible, y ocurre el ciclo destructivo de temperatura descrito anteriormente. El cual funde este componente e interrumpe la corriente. Nunca se debe remover un fusible de un equipo. Ni se debe sustituir por un fusible de mayor amperaje.

Interpretación del código de colores de las resistencias



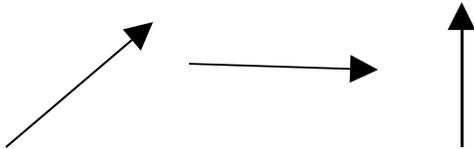
COLORES	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Multiplicador	Tolerancia
Plata				x 0.01	10%
Oro				x 0.1	5%
Negro	0	0	0	x 1	
Marrón	1	1	1	x 10	1%
Rojo	2	2	2	x 100	2%
Naranja	3	3	3	x 1000	
Amarillo	4	4	4	x 10000	
Verde	5	5	5	x 100000	0.5%
Azul	6	6	6	x 1000000	
Violeta	7	7	7		
Gris	8	8	8		
Blanco	9	9	9		
	-	-	-		20%

7. ANALISIS DE POTENCIA DE CORRIENTE ALTERNA

VECTORES

Un vector es una cantidad que tiene magnitud, dirección y sentido.

Ejemplo:

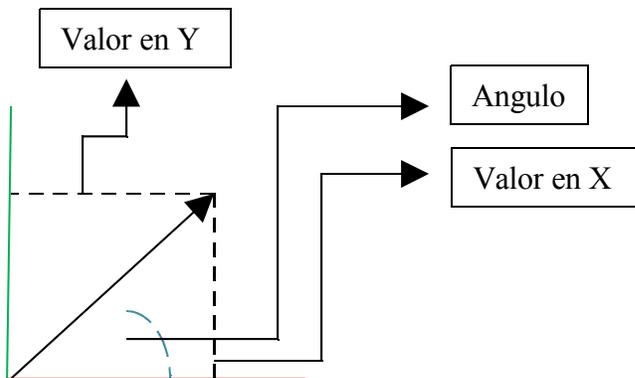


La magnitud, es el tamaño en si del vector o la cantidad que representa en unidades.

El sentido, es la ubicación del vector en cuanto a si es horizontal, vertical, oblicuo.

La dirección, es hacia donde está dirigido, hacia donde apunta la flecha.

Al ubicarlo en un plano y compararlo con respecto a los ejes, tenemos:



Para nuestro caso solo utilizaremos el plano XY. Agregando al final “ i ” al valor ubicado en el eje X. y agregando al final “ j ” al valor ubicado en el eje Y.

Ejemplo: $3i$, $2i$, $4j$, $7j$... etc.

También tendremos en cuenta que el ángulo del vector será siempre con respecto al eje X. y lo denominaremos: ϕ (fi).

Para conocer el valor de la resultante (R) o del vector, conociendo el valor de X y de Y, tenemos:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}, \text{ Teorema de Pitágoras.}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{Y}{X}$$

Ejemplo:

Hallar el valor de R y el ángulo con respecto a X, si mide 3 unidades en X y 4 unidades en Y.
O sea $(3i+4j)$

Solución:

$$R = \sqrt{3^2 + 4^2} \rightarrow R = 5 \text{ Unidades.}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{4}{3} = 53.13^\circ$$

CONCEPTO DE POTENCIA EN CORRIENTE ALTERNA (CA)

En corriente alterna, tenemos que diferenciar los conceptos de potencia aparente, potencia real y potencia reactiva.

La potencia aparente (S)

Se llama así porque aparentemente la potencia debería ser el producto de voltaje por corriente, por analogía con los circuitos dc. Esta potencia se mide en volt-Amperios (VA) y corresponde al valor de la resultante y el ángulo ϕ .

La potencia real (P)

Es la multiplicación de el voltaje por la corriente: $P = V \times I$. Y corresponde al valor en X del vector resultante. Es decir $R \cos \phi$. Esta potencia se mide en watt (w)

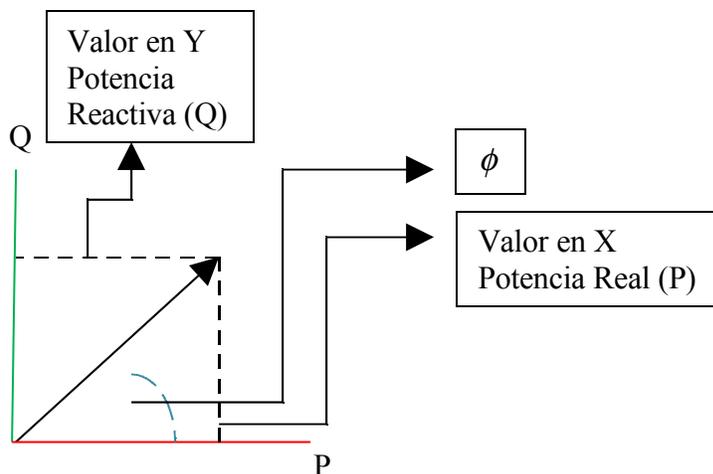
La potencia reactiva (Q)

Corresponde al valor en Y del vector resultante (R). Esta potencia se mide en Volt-Amperios Reactivos (VAR).

$$S = |S| \cos \phi + |S| \sen \phi$$

Donde $|S| \cos \phi$, es la potencia real.

$|S| \sen \phi$, es la potencia reactiva.



FACTOR DE POTENCIA Y CORRECCIÓN

Para el caso de las empresas generadoras de electricidad, el cobro del servicio lo hacen por los Kilo watts consumidos, es decir por la potencia real consumida.

Mientras más elementos inductivos se tengan en el circuito, mayor va a ser el ángulo ϕ y por ende mayor la potencia reactiva.

Para estas empresas no dejar de recibir ingresos por potencia reactiva no cobrada, simplemente obligan a los usuarios del sistema eléctrico a corregir el factor de potencia, que no es otra cosa que el $\cos\phi$.

Impedancia (Z)

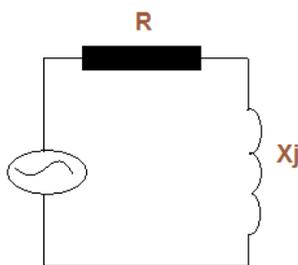
Es la suma de los elementos resistivos más los elementos inductivos más los elementos capacitivos.

$Z = R + X_L - X_C$; Nótese que el signo es contrario en inductancia y conductancia.

Ahora el ángulo que me dé al realizar esta operación es el mismo ángulo ϕ (fi).

Ejemplo:

Corregir el factor de potencia en el siguiente circuito hasta 0.92.



$$P = 5 \text{ W}$$

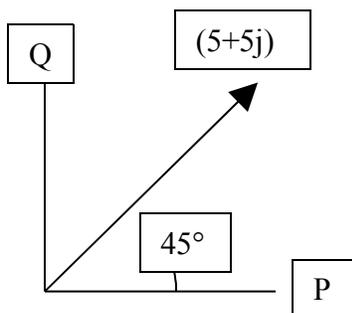
$$Q = 5 \text{ VAR}$$

$$V = 10 \text{ V}$$

$$R = 10 \Omega$$

$$X = 10 \Omega ; \quad \text{Recordar que: } x_L = 2\pi fL$$

$$\text{O sea } L = 26.53 \text{ mH}$$



$\cos 65^\circ = 0.707$; este es el que hay que subir hasta 0.92

O sea $\cos \theta = 0.92$. De donde $\theta = 23^\circ$

Es decir que hay que bajar el ángulo de 45° hasta 23° .

Entonces $\tan 23 = \frac{Q_{FINAL}}{P} \rightarrow Q_{FINAL} = 5 \tan 23 = 2.12 \text{ VAR}$

Q del capacitor = $Q_{INICIAL} - Q_{FINAL} \rightarrow Q \text{ del capacitor} = 5 - 2.12 = 2.88 \text{ VAR}$.

Lo que normalmente se hace es colocar el capacitor en paralelo con la impedancia existente en el circuito.

Aplicamos la siguiente fórmula:

$$X_C = \frac{V^2}{Q_{DEL-CAPACITOR}} \rightarrow X_C = \frac{10^2}{2.88} = 34.72 \Omega$$

Y sabemos que: $X_C = \frac{1}{2\pi f C} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi f X_C} \rightarrow C = \frac{1}{2 * \pi * 60 * 34.72} = 7.64 \times 10^{-5} \text{ F}$
 $C = 76.4 \mu\text{F}$

8. CIRCUITOS RESIDENCIALES E INDUSTRIALES

CONDUCTORES ELECTRICOS

Se aplica este concepto a los cuerpos capaces de conducir o transmitir la electricidad.

Un conductor eléctrico está formado primeramente por el conductor propiamente tal, usualmente de cobre.

Este puede ser alambre, es decir, una sola hebra o un cable formado por varias hebras o alambres retorcidos entre sí.

Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio.

Aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas y eléctricas.

El uso de uno y otro material como conductor, dependerá de sus características eléctricas (capacidad para transportar la electricidad), mecánicas (resistencia al desgaste, maleabilidad), del uso específico que se le quiera dar y del costo.

Estas características llevan a preferir al cobre en la elaboración de conductores eléctricos.

El tipo de cobre que se utiliza en la fabricación de conductores es el cobre electrolítico de alta pureza, 99,99%.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar, este tipo de cobre se presenta en los siguientes grados de dureza o temple: duro, semi duro y blando o recocido.

LINEAS DE TRANSMISIÓN

Las líneas de conducción se pueden diferenciar según su función secundaria en líneas de transporte (altos voltajes) y líneas de distribución (bajos voltajes). Las primeras se identifican a primera vista por el tamaño de las torres o apoyos, la distancia entre conductores, las largas series de platillos de que constan los aisladores y la existencia de una línea superior de cable más fino que es la línea de tierra.

Las líneas de conducción de alta tensión suelen estar formadas por cables de cobre, aluminio o acero recubierto de aluminio o cobre. Estos cables están suspendidos de postes o pilones, altas torres de acero, mediante una sucesión de aislantes de porcelana. Gracias a la utilización de cables de acero recubierto y altas torres, la distancia entre éstas puede ser mayor, lo que reduce el coste del tendido de las líneas de conducción.

Algunos cables tienen el centro hueco para que circule aceite a baja presión. El aceite proporciona una protección temporal contra el agua, que podría producir fugas en el cable. Se utilizan con frecuencia tubos rellenos con muchos cables y aceite a alta presión (unas 15 atmósferas) para la transmisión de tensiones de hasta 345 kilovoltios.

La capacidad de transporte de los conductores está restringida por su capacidad de disipar la temperatura del medio que los rodea. Para ello, los aislantes no deben sobrepasar la temperatura de servicio de los conductores.

El calibre de los conductores eléctricos, especialmente de cobre, está estandarizado por el sistema denominado: AMERICAN STANDARD WIRE GAUGE (AWG). Este sistema consiste en expresar el área de la sección transversal en milésimas circulares.

UTILIZACIÓN DE LOS CONDUCTORES DE COBRE SEGÚN SU CALIBRE

- Del N° 40 al 20, se utiliza en aparatos eléctricos de gran variedad.
- Los N°s 16 y 18 se usan en cordones flexibles, para corrientes pequeñas.
- El N° 14 es el más usado en instalaciones residenciales, siendo el mínimo calibre permitido para instalaciones comunes en interiores.
- Del N° 14 al N° 2 son los más usados en instalaciones comerciales, residenciales e industriales.

INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA CONDUCTORES DE COBRE (Secciones AWG)								
AISLADOS		TEMPERATURA DE SERVICIO: 60°			75°		90°	
SECCION	SECCION	GRUPO A			GRUPO B			DESNUDO
		TEMPERATURA DE SERVICIO			TEMPERATURA DE SERVICIO			
Nominal (mm) ²	AWG	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
0,32	22	3	3					
0,51	20	5	5					
0,82	18	7,5	7,5					
1,31	16	10	10					
2,08	14	15	15	25	20	20	30	
3,31	12	20	20	30	25	25	40	
5,26	10	30	30	40	40	40	55	
8,36	8	40	45	50	55	65	70	90
13,30	6	55	65	70	80	95	100	130
21,15	4	70	85	90	105	125	135	150
26,67	3	80	100	105	120	145	155	200
33,62	2	95	115	120	140	170	180	230
42,41	1	110	130	140	165	195	210	270
53,49	1/0	125	150	155	195	230	245	310
67,42	2/0	145	175	185	225	265	285	360
85,01	3/0	165	200	210	260	310	330	420
107,2	4/0	195	230	235	300	360	385	490
127	250 MCM	215	255	270	340	405	425	540
152,0	300 MCM	240	285	300	375	445	480	610
177,3	350 MCM	260	310	325	420	505	530	670
202,7	400 MCM	280	355	360	455	545	575	730
253,4	500 MCM	320	380	405	515	620	660	840
304	600 MCM	355	420	455	475	690	740	
354,7	700 MCM	385	460		630	755		
380	750 MCM	400	475	500	655	785	845	
405,4	800 MCM	410	490		680	815		
456	900 MCM	435	520		730	870		
506,7	1000 MCM	455	545	585	780	925	1000	
633,4	1250 MCM	495	590		890	1065		
760,1	1500 MCM	520	625		980	1175		
886,7	1750 MCM	545	650		1070	1280		
1013	2000 MCM	560	665		1155	1385		

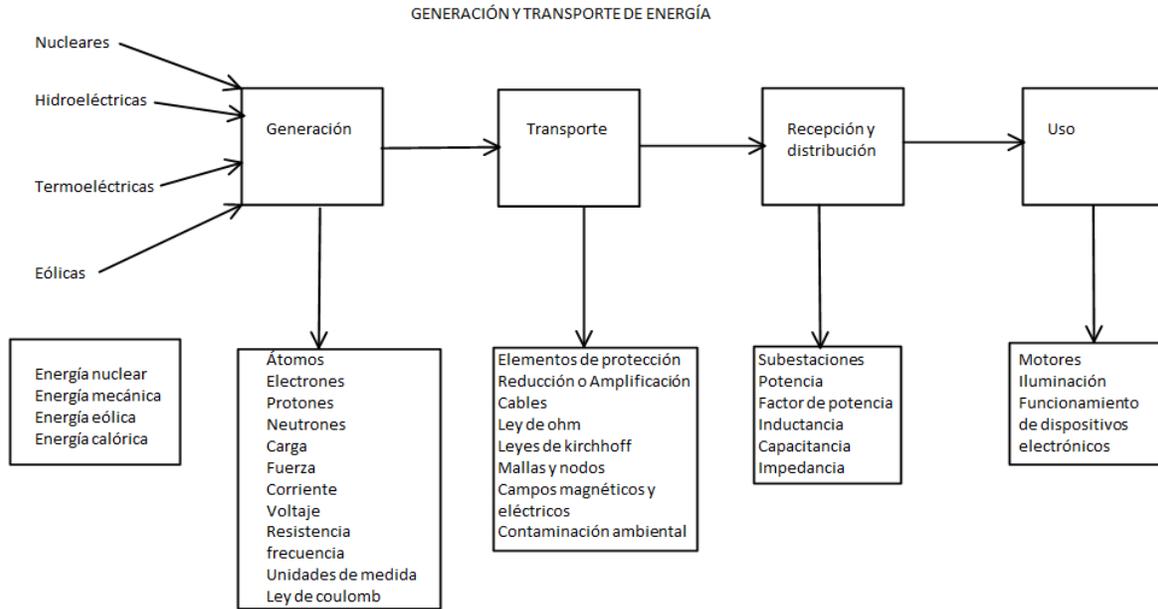
Grupo A: hasta 3 conductores en tubo o en cable o directamente enterrados. Grupo B: Conductor simple al aire libre.

El número 4/0 es el calibre máximo que se puede conseguir como alambre o conductor solido. De ahí en adelante se utilizan cables.

Cualquier sistema de distribución de electricidad requiere una serie de equipos suplementarios para proteger los generadores, transformadores y las propias líneas de conducción. Suelen incluir dispositivos diseñados para regular la tensión que se proporciona a los usuarios y corregir el factor de potencia del sistema.

TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD

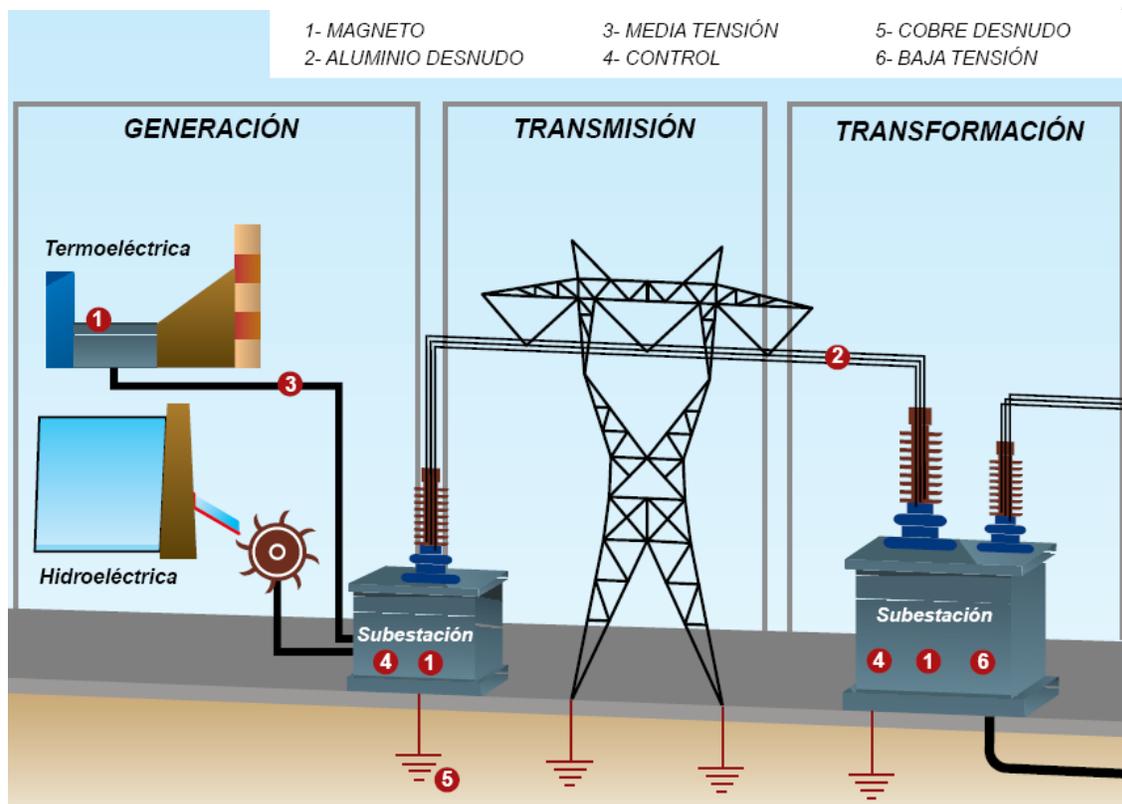
Una red de distribución de energía eléctrica consta de las siguientes partes:



Gracias a NIKOLA TESLA, quién nos ilumino con sus invenciones, la corriente alterna se puede transportar grandes distancias, ya que es fácil reducir y aumentar el voltaje con transformadores (véase capítulo 8).

Las instalaciones eléctricas tienen seis elementos principales: la central eléctrica, los transformadores, que elevan el voltaje de la energía eléctrica generada a las altas tensiones utilizadas en las líneas de transporte, las líneas de transporte, las subestaciones donde la señal baja su voltaje para adecuarse a las líneas de distribución, las líneas de distribución y los transformadores que bajan el voltaje al valor utilizado por los consumidores.

Básicamente en este proceso de generación y distribución se tienen los siguientes pasos:



- El generador de corriente alterna me entrega 13.800 Voltios entre fase y fase.
- Por medio de un transformador elevador, se llevan hasta 230.000 ó 500.000 Voltios. Esta es la denominada línea primaria, que va desde la subestación de la central hasta la subestación en la ciudad o en los municipios.
- En la subestación de la ciudad que entra a 230.000, por medio de un transformador reductor, se baja hasta 110.000 Voltios y en un banco de transformadores se sacan 44.000 y 13.200 Voltios. Estos son los llevados a la industria y a los hogares respectivamente.
- A la industria son llevadas 3 fases, generalmente 44.000 voltios. Y por medio de arrancadores, transformadores y/o subestación, se saca las líneas que alimentan el circuito.
- A los hogares se lleva una fase hasta el transformador monofásico reductor. El cual me entrega dos fases y una neutra. Para alimentar a 220 o 110 Voltios.

Nota: los cables que llegan a la entrada de la casa son los denominados anti-fraude, los cuales son más gruesos y llevan las fases juntas.

CABLEADOS ELECTRICOS PARA MEDELLÍN

El RETIE establece que se debe cumplir con la NTC 2050, la cual indica que los calibres de todos los cables deben ser en el sistema americano (AWG y kcmil), sin embargo, las Tablas 32 y 33 del Artículo 17 del RETIE abren la posibilidad de especificar calibres en mm².

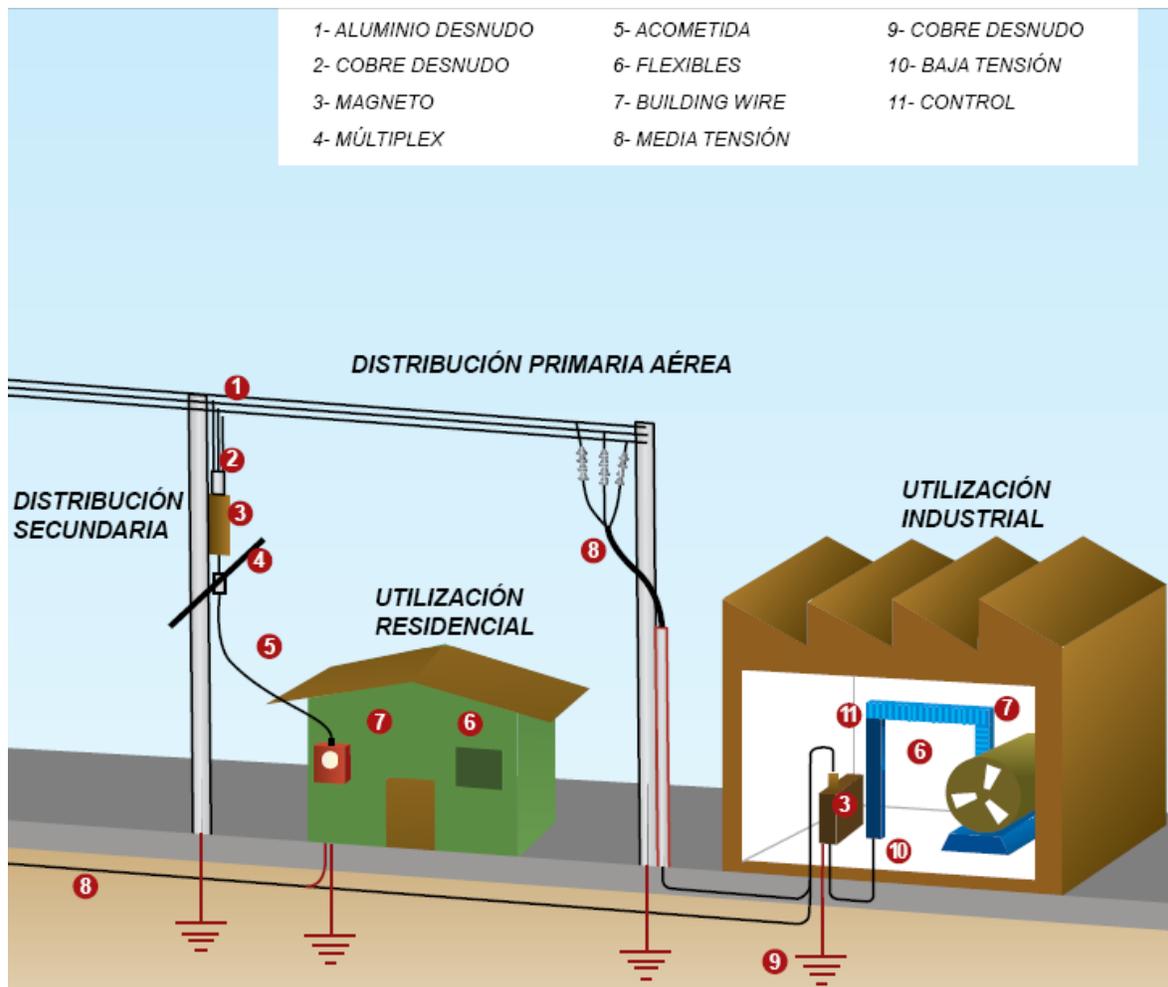
En el caso de empresas públicas de Medellín, se utiliza:

Entre la sala de generación y la subestación cables aislados secos o aislados en aceite, N° 795, indicado por fase para 230 Amperios.

Entre la central y la subestación de transmisión y transformación se utiliza cable 1113 ACSR desnudo en aluminio, con 7 hilos.

Entre la subestación TT y la industria o los hogares se utiliza cable cuatro ceros (0000).

Entre el transformador monofásico y la vivienda se utiliza cable N° 8, y la protección en el contador es con dos breakers de 50 Amperios.



REVISIÓN DE CIRCUITOS ELECTRICOS

Al momento de revisarlos se debe verificar:

. El dimensionamiento de líneas: revisar la sección de los conductores.

- . Los ductos: sus diámetros y las llegadas a cajas.
- . Las cajas de derivación: inspeccionar la continuidad de líneas, el estado mecánico de los conductores, la unión y aislación de las conexiones, el espacio libre, el código de colores, el estado mecánico de los ductos y coplas, la ausencia de rebabas y la limpieza.
- . Las cajas de interruptores y enchufes: el largo de los chicotes, el estado mecánico de unión al elemento, la llegada de ductos y la calidad de los dispositivos.
- . Las puestas a tierra: al inspeccionar las puestas a tierra hay que verificar la sección de conductores, el código de colores, la calidad de las uniones a la puesta de tierra, la llegada al tablero, y la unión a las barras de tierra de servicio y tierra de protección situadas en el tablero.

Dentro de los ensayos y mediciones se recomienda considerar las siguientes:

- . Continuidad de los conductores de las tierras de servicio y de protección y de las conexiones equipotenciales.
- . Separación eléctrica de los circuitos.
- . Resistencia de aislación de la instalación.
- . Resistencia de pisos.
- . Medición de la resistencia de los electrodos de la tierra de protección.
- . Verificación de las características de los dispositivos de protección contra contactos indirectos y directos.
- . Verificación de las características de los dispositivos contra cortocircuito y sobrecargas.
- . Verificación de polaridades.
- . Ensayos de tensión.
- . Ensayos de funcionamiento.

Los ensayos o pruebas antes mencionadas, además de asegurar el correcto funcionamiento de un sistema o circuito eléctrico, están destinados a proteger al operador, evitando que corra el riesgo de quedar sometido a tensiones peligrosas por contacto directo o indirecto.

9. TRANSFORMADORES

Un transformador es un dispositivo que transfiere potencia entre dos circuitos de corriente alterna, eléctricamente independientes, sin deformar la onda ni variar la frecuencia.



Aprovecha el fenómeno de inducción electromagnética para modificar el voltaje de una corriente eléctrica.

En sí el transformador consta de dos bobinas de alambre en un núcleo de hierro dulce o de un material con propiedades similares. Las bobinas se denominan primaria y secundaria. Donde la bobina primaria es la que recibe la corriente original y la secundaria es la que produce la corriente modificada.

Cuando se pasa una corriente a través de la bobina primaria, ésta genera un campo magnético a su alrededor. Este campo magnético causa que en la bobina secundaria se induzca una corriente eléctrica. Si la bobina secundaria posee un número de vueltas distinto a la primaria. La corriente que se induce es de menor o mayor voltaje.

Cuánto menor o cuánto mayor dependerá de la siguiente ecuación:

$$\frac{N_{primaria}}{N_{secundaria}} = \frac{V_{primaria}}{V_{secundaria}}$$

Donde N es el número de vueltas de la bobina y V es el voltaje de la bobina.

La dinámica de los problemas de transformadores consiste en que conociendo tres de las variables anteriores, por ejemplo los voltajes de entrada y de salida y el número de vueltas de una de las bobinas, se despeja el valor faltante (en ese caso el número de vueltas de la otra bobina). También pueden darse las vueltas de ambas bobinas y uno de los voltajes. Para que se despeje el voltaje faltante.

La siguiente relación también puede ser útil para cuando se desea averiguar un cambio en corriente eléctrica:

$$\frac{V_{primaria}}{V_{secundaria}} = \frac{I_{secundaria}}{I_{primaria}}$$

Vale la pena mencionar que los transformadores funcionan únicamente con corriente alterna (AC). Si se someten a corriente directa, no se produce inducción en la bobina secundaria.

Un transformador puede cumplir varias funciones. Si el transformador toma un voltaje y lo eleva, se le llama transformador elevador. Si toma el voltaje y lo reduce se llama transformador reductor. Si el voltaje de entrada y de salida son iguales. El transformador se llama transformador aislador.

Según sus aplicaciones se dividen en:

Transformador elevador/reductor de tensión

Son empleados en las subestaciones de la red de transporte de energía eléctrica, con el fin de disminuir las pérdidas por efecto Joule. Debido a la resistencia de los conductores, conviene transportar la energía eléctrica a tensiones elevadas, lo que origina la necesidad de reducir nuevamente dichas tensiones para adaptarlas a las de utilización.

Transformador de aislamiento

Proporciona aislamiento galvánico entre el primario y el secundario, de manera que consigue una alimentación o señal "flotante". Suele tener una relación 1:1. Se utiliza principalmente como medida de protección, en equipos que trabajan directamente con la tensión de red. También para acoplar señales procedentes de sensores lejanos, en equipos de electro medicina y allí donde se necesitan tensiones flotantes entre sí.

Transformador de alimentación

Pueden tener una o varias bobinas secundarias y proporcionan las tensiones necesarias para el funcionamiento del equipo. A veces incorporan fusibles que cortan su circuito primario cuando el transformador alcanza una temperatura excesiva, evitando que éste se queme, con la emisión de humos y gases que conlleva e, incluso, riesgo de incendio. Estos fusibles no suelen ser reemplazables, de modo que hay que sustituir todo el transformador.

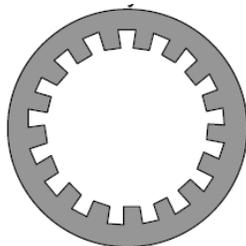
10. MAQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA

Las máquinas de corriente continua (MCC) se caracterizan por su versatilidad debido a las distintas configuraciones posibles de conexión de sus bobinados, esto es separada, serie o derivación (shunt), lo que le da un amplio rango de volt-ampere o velocidad-torque tanto para operación en estado estable como dinámica. Por lo anterior su aplicación se encuentra en aquellas situaciones donde se requiere un amplio rango de velocidad y preciso control de torque. Su simplicidad de operación y la flexibilidad la hacen gozar de una gran reputación aún en presencia de los sofisticados accionamientos de CA.

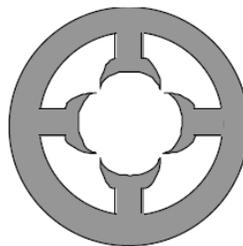
CLASIFICACIÓN FÍSICA DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS ROTATIVAS

Parte de la máquina / Tipo de máquina	DC	AC	
		Sincrónica	Asincrónica
Estator	Polo saliente	a. Polos saliente	Liso
		b. Liso	
Rotor	Liso (devanado) y tiene colector	a. Liso: 3 anillos	Liso: - Jaula de ardilla
		b. Polo saliente: 2 anillos	- devanado: 3 anillos

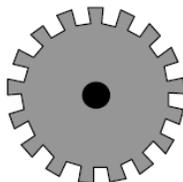
TIPOS DE ROTORES Y ESTADORES DESDE EL PUNTO DE VISTA FISICO



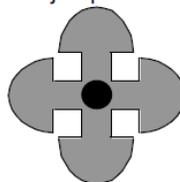
Estator liso



Estator de polo saliente
Ej. 4 polos

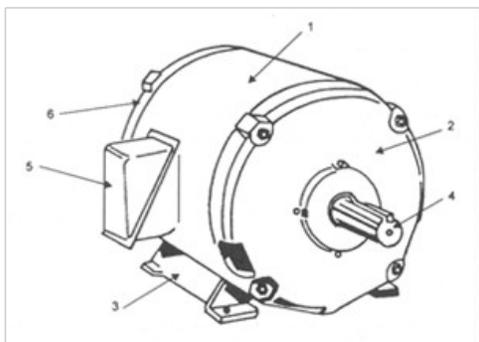


Rotor liso



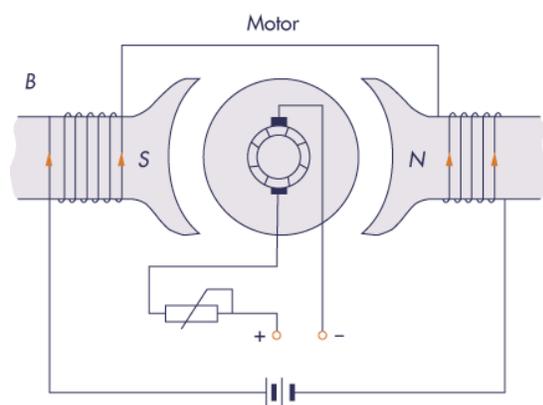
Rotor de polo saliente
Ej. 4 polos

MOTORES Y GENERADOR DE CORRIENTE CONTINÚA



1. CARCASA
2. TAPA ANTERIOR (FRENTE)
3. BASE
4. FLECHA O EJE DEL ROTOR
5. CAJA DE CONEXIONES
6. TAPA POSTERIOR

MOTOR DE EXCITACIÓN INDEPENDIENTE



Los datos de placa del motor son los siguientes:

Motor DC

Corriente nominal 2.5 Amp

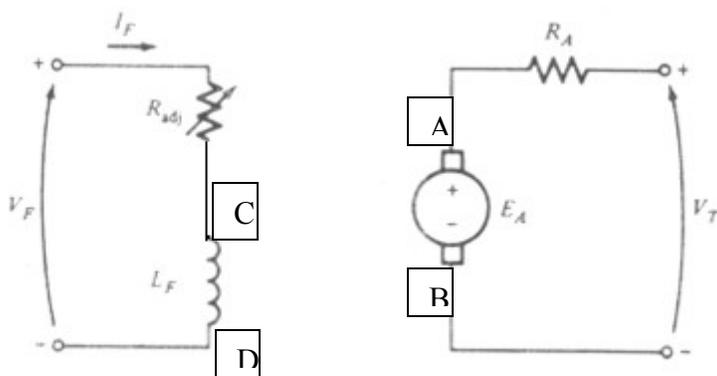
Voltaje nominal 230V

Las medidas correspondientes de resistividad son:

Terminales CD 726 Ω Bobina de campo

Terminales EF 7.5 Ω Bobina auxiliar

Terminales AB 7.8 Ω Armadura



Puedo hacer inversión de giro si:

1. Invierto la alimentación en las terminales CD (Bobina de campo)
2. Invierto la alimentación en las terminales EF (Armadura)

Con el 70% del valor nominal del voltaje de campo, 161 Voltios, variamos el voltaje de la armadura y obtenemos los siguientes datos:

Corriente exc.	V armadura	V campo (Voltio)	Corriente arm.	Velocidad (rpm)
0.21 Amp	6.4	161	0.10 Amp	60
0.21 Amp	37	161	0.13 Amp	357
0.21 Amp	56.7	161	0.14 Amp	557
0.21 Amp	80	161	0.16 Amp	768
0.21 Amp	120	161	0.19 Amp	1170
0.21 Amp	200	161	0.3 Amp	2440
0.21 Amp	230	161	0.32 Amp	2834

Si dejamos constante el voltaje de la armadura y variamos gradualmente el voltaje de campo obtenemos los siguientes datos:

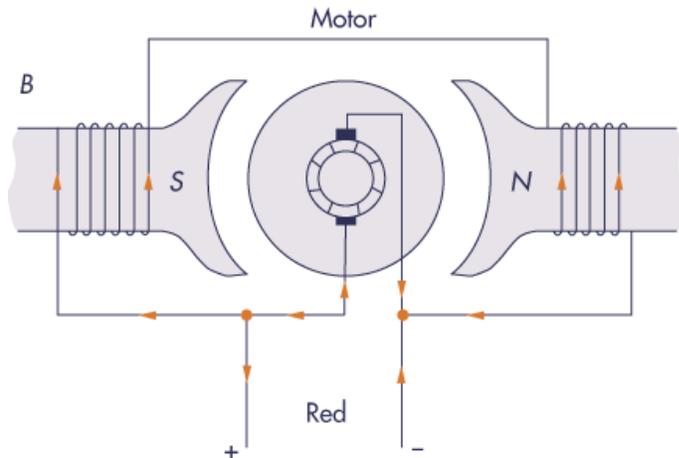
Corriente exc.	V armadura	V campo (Voltio)	Corriente arm.	Velocidad (rpm)
0.24 Amp	120	180	0.19 Amp	1055
0.25 Amp	120	190	0.19 Amp	1035
0.23 Amp	120	170	0.19 Amp	1107
0.2 Amp	120	150	0.19 Amp	1226
0.19 Amp	120	140	0.19 Amp	1292

Se concluye que si aumentamos el voltaje de la armadura en forma gradual, la velocidad de giro del motor también aumenta.

Notamos que si hacemos este aumento en forma gradual, la corriente no tiene picos y se comporta en forma proporcional al aumento de voltaje.

A medida que se aumenta el voltaje de campo, la velocidad se reduce también en forma gradual.

MOTOR DE CONEXIÓN SHUNT



Los datos de placa del motor son los siguientes:

Motor DC

Corriente nominal 2.5 Amp

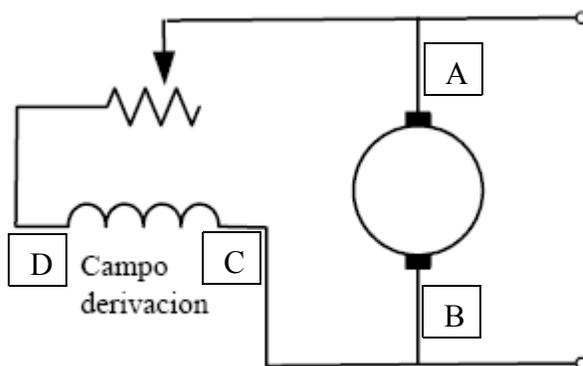
Voltaje nominal 230V

Las medidas correspondientes de resistividad son:

Terminales CD 726 Ω Bobina de campo

Terminales EF 7.5 Ω Bobina auxiliar

Terminales AB 7.8 Ω Armadura



Se deja fijo el voltaje de campo entre 70% y 100% del voltaje de alimentación, se empieza a variar la resistencia de excitación, para aumentar voltaje en la armadura.

100% R 177V
0% R 189V
R intermedio 182V de campo, con una corriente de 0.24 Amp.

Ahora con el voltaje de campo fijo en 182 Voltios, variamos la resistencia de la armadura y obtenemos los siguientes datos:

Corriente exc	V arm. (V)	Corriente Arm	V campo	Velocidad (rpm)	R Arm (Ω)
0.24Amp	111	0.41Amp	182	945	490
0.24Amp	152	0.40Amp	182	1289	245
0.24Amp	173	0.40Amp	182	1430	166
0.24Amp	186	0.40Amp	182	1511	125
0.24Amp	194	0.40Amp	182	1568	99

Se puede concluir que a medida que se aumenta la resistencia de armadura, disminuye el voltaje de la armadura y por ende disminuye la velocidad de giro del motor.

EL GENERADOR DE CORRIENTE CONTINÚA

Se conoce con el nombre de dínamo. Es una máquina que recibe energía mecánica externa y produce voltaje de corriente directa.

COMPOSICIÓN DE LA DÍNAMO

En las máquinas eléctricas rotativas se pueden distinguir físicamente dos partes principales: una parte estática llamada estator y una parte que esta rotando llamada rotor.

En general el estator de cualquier máquina eléctrica rotativa está compuesto por las siguientes partes:

El núcleo: forma el circuito magnético del estator

La carcasa: sirve para proteger al núcleo de golpes y vibraciones

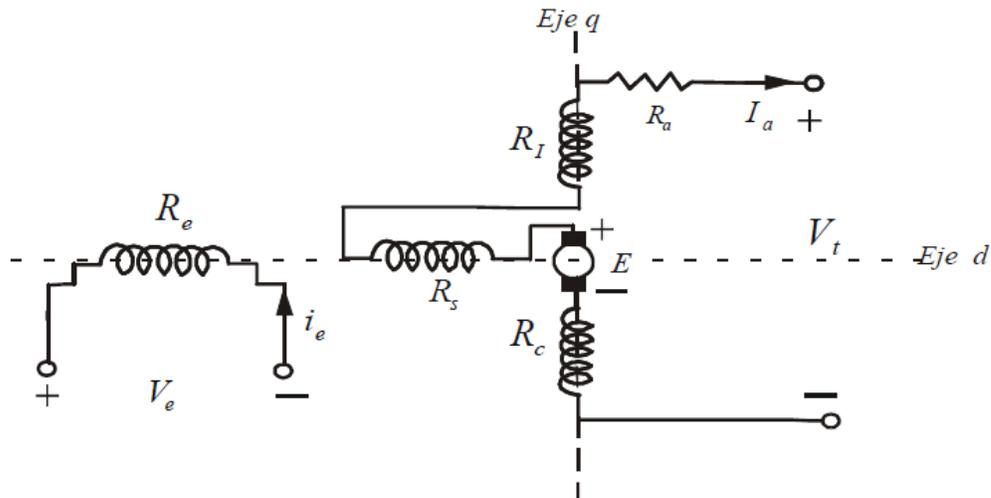
La base de fijación: sirve para fijar al motor en el sitio de trabajo

Las tapas: sirven para sostener al rotor, en ellas se encuentran los rodamientos que permitirán que el rotor gire libremente.

El campo: es el elemento que crea el campo magnético del estator. Cuando se requiere un campo de magnitud y dirección definida puede estar constituido por imanes permanentes, en este caso solo se usan para máquinas muy pequeñas. También puede estar constituido por electroimanes.

En términos generales el rotor de cualquier máquina eléctrica rotativa tendrá las siguientes partes:

El núcleo: forma el circuito magnético del rotor
El eje: a él se fijan todas las partes del rotor para permitir que giren libremente.
Los conductores o bobinas.
Según el tipo de máquina en el rotor se encontrarán otras partes adicionales.



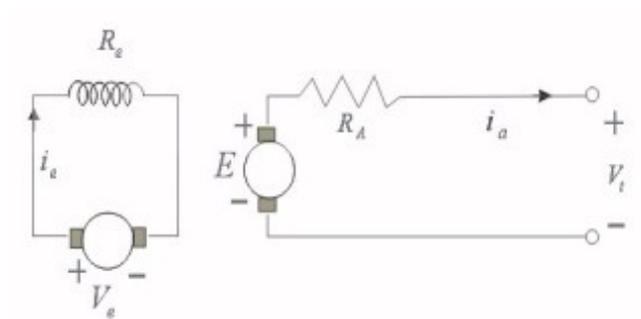
RA: resistencia interna de la máquina, es decir la resistencia del arrollamiento de Armadura.

RI: representa la resistencia de los interpolos

RC: representa la resistencia del arrollamiento de compensación

RS: resistencia de la bobina de campo serie

Como todas estas resistencias están en serie pueden reemplazarse por una resistencia equivalente: **Ra**.



Los datos de placa y medidas de las terminales, en cada uno de los motores nos permitirán hacer las respectivas conexiones:

Motor DC

Corriente nominal 2.5 Amp

Voltaje nominal 230V

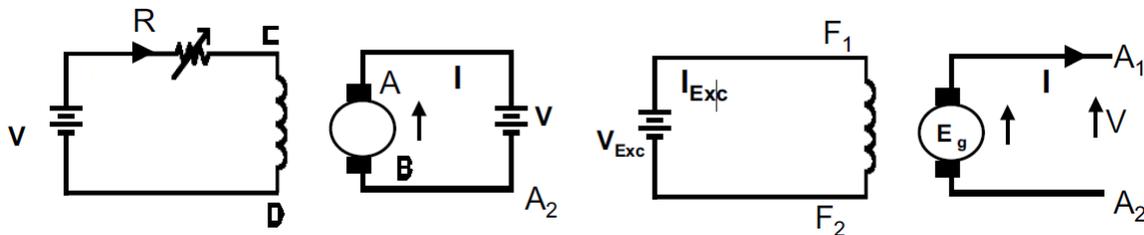
Johny Álvarez Salazar
Electromecánico ITM

Las medidas correspondientes de resistividad son:

Terminales CD	$726\ \Omega$	Bobina de campo
Terminales EF	$7.5\ \Omega$	Bobina auxiliar
Terminales AB	$7.8\ \Omega$	Armadura

Los valores diferentes que se obtienen al medir las terminales nos indican a que elemento pertenecen, las terminales de mayor resistencia son las de la bobina de campo, como segunda medida se tiene en cuenta el calibre del alambre de las bobinas y de acuerdo a estos factores se pueden determinar nuevamente las conexiones y marcarlas con sus respectivas letras.

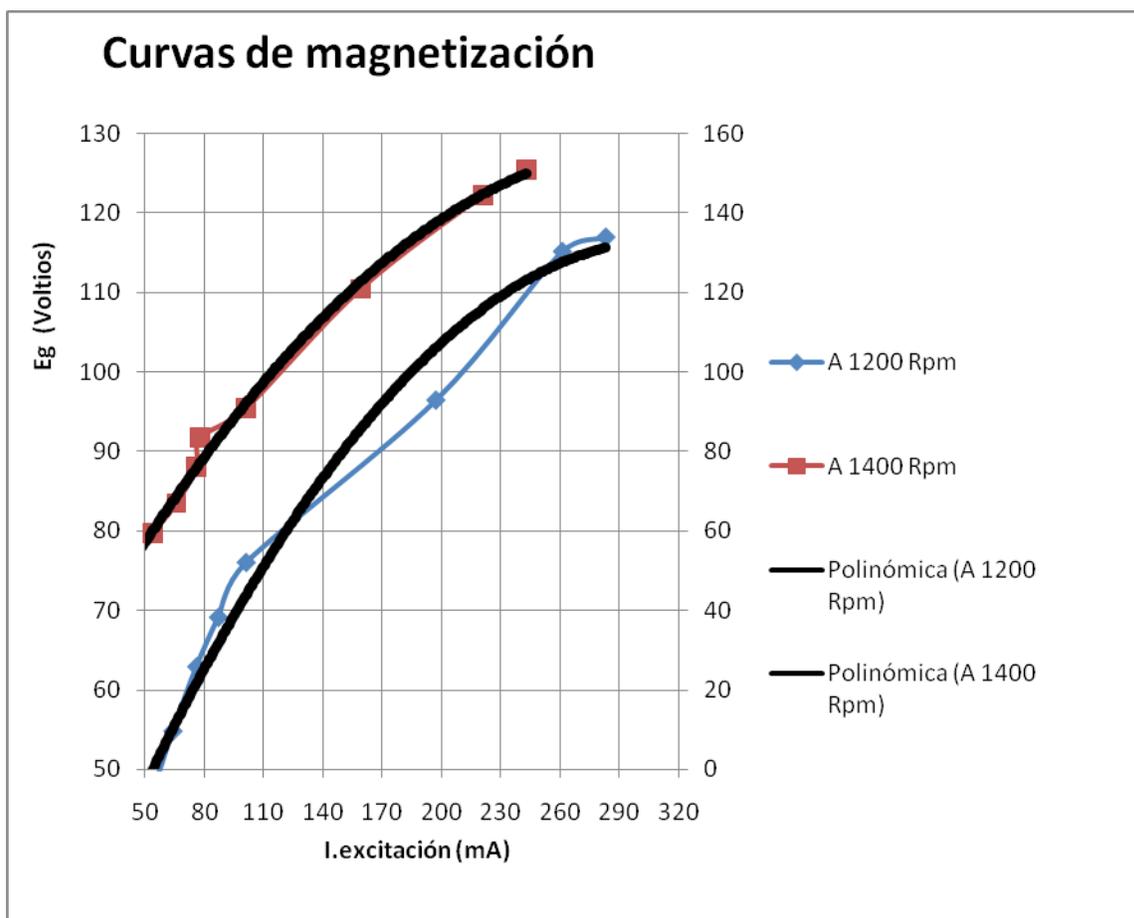
Conexiones del motor y el generador



Monitoreamos para dos voltajes de entrada al motor (generando dos velocidades distintas) los valores correspondientes I excitación y E_g .

Datos obtenidos y gráfica

Voltaje de excitación del campo del generador	I exc. de la dínamo a 1200 RPM (mA)	Eg a 1200 RPM	I exc. de la dínamo a 1400 RPM (mA)	Eg a 1400 RPM
50	40	40	43	50
60	54	47,5	54	59,3
70	64	54,8	66	66,9
80	76	62,9	76	76,1
90	87	69,1	78	83,5
100	101	76	101	90,8
150	197	96,4	159	120,8
201	261	115,1	221	144,4
220	283	116,9	243	150,8



Observamos que el voltaje entregado por el generador (la dínamo), puede ser regulado de una manera simple, variando la velocidad de giro. Y en una forma no tan significativa

(comparada con la variación de la velocidad) también varía cuando se cambia el voltaje de alimentación del campo. Esto nos hace concluir que si necesitamos aumentar el voltaje entregado por el generador, aumentamos la velocidad de giro (mecánico) y obtenemos una curva más alta, mientras más alta sea la relación de giro.
Cuando cambiamos el sentido de giro cambia la polaridad pero el voltaje en su magnitud es el mismo.

CONCLUSIONES

Variando la resistencia de armadura y dejando el voltaje de campo estable se genera aun disminución o aumento de la velocidad en el motor.

Dejando el voltaje de armadura en un valor constante y a su vez variando gradualmente el voltaje de campo, se observa que al incrementar el voltaje de campo se genera una mayor velocidad el motor.

Se genera inversión de giro en la maquina:

1. invirtiendo las terminales de la bobina de campo.
2. invirtiendo las terminales de la bobina de la armadura.

Cuando a un alternador le necesitamos hacer cambios considerables en su generación, lo hacemos a través de la velocidad del rotor.

Si se quieren hacer pequeños ajustes de voltaje, se varía el campo.

11. MAQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA

Una máquina eléctrica es un conjunto de elementos que sirve para convertir energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en energía mecánica. En el caso de la conversión de energía mecánica en energía eléctrica, la máquina se define como *un generador*. En el caso de la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, la máquina se define con un *motor*.

Si la energía mecánica presenta movimiento rotativo se trata de *un motor rotativo*, si la energía mecánica presenta movimiento lineal, se trata de un *motor lineal*. Este último se encuentra en pleno desarrollo aunque la primera aplicación que se conoce de él es en el Tren de Tokio.

Se dividen en síncronos y asíncronos.

La diferencia básica entre las máquinas sincrónicas y asíncronas radica en que las sincrónicas giran a una velocidad que depende directamente de la frecuencia de la red que generan, para el caso del alternador, o de la red que los alimenta, para el caso del motor. Tal velocidad se denomina *velocidad sincrónica* y es directamente proporcional a la frecuencia.

Generadores:

- Síncronos: Los generadores de corriente alterna sincrónicos, también llamados alternadores, pueden generar desde una hasta n fases. Cuando generan una fase se denominan monofásicos, cuando generan dos fases se denominan bifásicos, cuando generan tres fases se denominan trifásicos.

En nuestro medio, debido a las condiciones del sistema eléctrico, sólo se usan los monofásicos para pequeñas potencias (hasta 3 kW) y los trifásicos desde potencias menores a 1 KVA hasta las más grandes posibles (del orden de 700 MW).

El generador síncrono es una máquina de velocidad muy estable que permite mantener la frecuencia de la red dentro de límites muy cercanos o iguales al deseado.

El alternador monofásico es usado en redes independientes muy pequeñas para aplicaciones específicas. El alternador trifásico es el más usado, con aplicaciones en grandes centrales de generación en el mundo, plantas auxiliares y plantas de emergencia, entre otras.

- Asíncronos: El generador de inducción tiene aplicaciones muy limitadas, pues la frecuencia de la tensión que genera varía conforme varía la carga.

MOTORES

- Síncronos: Son máquinas que giran a velocidad sincrónica, cuyo valor depende directamente de la frecuencia de la red que los alimenta. Dado que no permiten variar su velocidad, solo pueden usarse para cargas de velocidad constante.

Adicionalmente, estas máquinas son muy grandes y su mantenimiento es bastante costoso si se comparan con las máquinas asíncronas.

Hasta la aparición en el comercio de los bancos de capacitores, los motores asíncronos eran muy usados debido a que adicionalmente sirven para corregir el factor de potencia de grandes industrias.

- Asíncronos: También llamados motores de inducción, son de aplicación generalizada en la industria debido a su bajo costo, su tamaño reducido y el poco mantenimiento que requieren. Entre todos los motores, son los más económicos y los que requieren menor mantenimiento. Hasta la década de los 90, el motor de inducción se usaba para cargas de velocidad constante debido a su bajo costo y los motores de corriente directa para cargas de velocidad variable. La velocidad del motor de inducción solo puede variarse mediante la variación de la frecuencia de la red que lo alimenta. Con la aparición de los variadores de frecuencia en la década del 90, se posibilitó la variación de velocidad de los motores asíncronos.

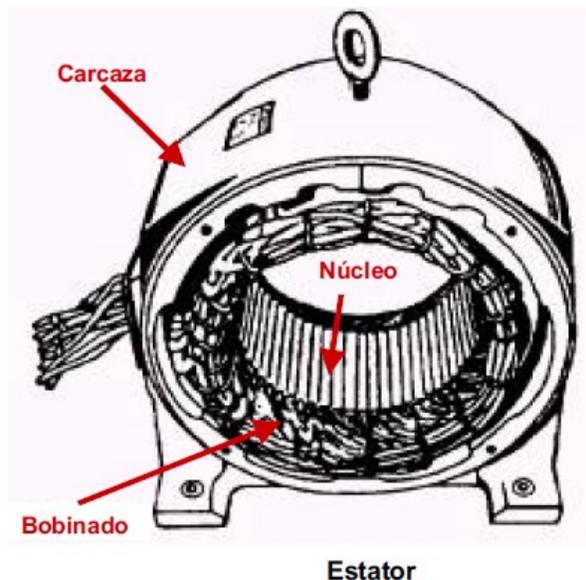
CONSTITUCIÓN GENERAL DE UNA MÁQUINA ELÉCTRICA ROTATIVA

Desde el punto de vista físico, la máquina eléctrica rotativa consta de dos partes: El estator y el rotor.

El estator

Está compuesto por todas las partes estáticas de la máquina, es decir, las que no se mueven. En él se puede distinguir:

- La carcasa: Sirve para proteger el interior de la máquina, especialmente el núcleo, contra golpes o para protegerla del medio.
- El núcleo: Es la parte magnética de estator. Es laminado y construido con un material de alta permeabilidad y baja reluctancia magnética.
- La base: Sirve para fijar la máquina, es decir, para evitar que el motor se mueva cuando está en funcionamiento.
- Las tapas: En ellas se apoyan los rodamientos del eje del rotor para permitirle que gire libremente.



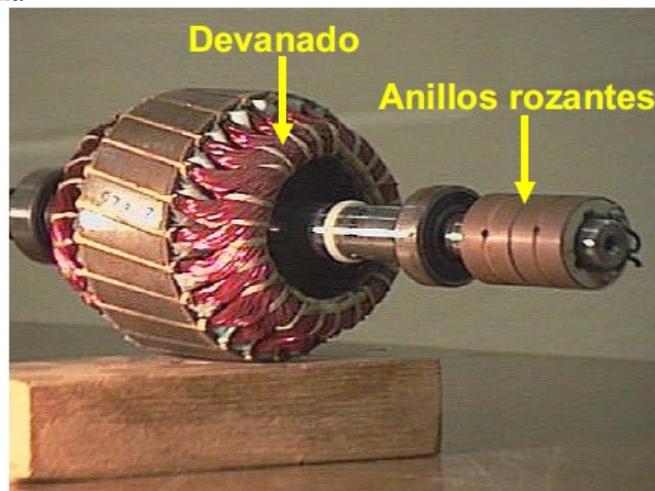
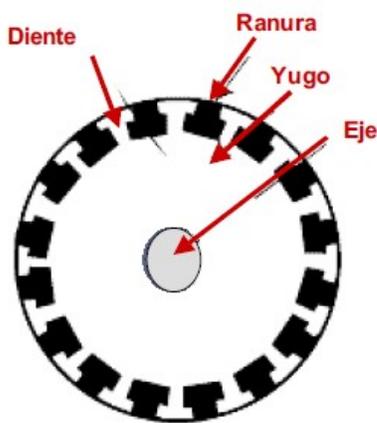
El rotor

Está compuesto por todas las partes que giran, entre las cuales se pueden distinguir:

- El núcleo: Es la parte magnética de rotor. Es laminado y construido con un material de alta permeabilidad y baja reluctancia magnética.
- El eje: Sirve de soporte para todas las partes que giran, es decir, soporta el núcleo, los rodamientos, la ventiladora y otros.
- Los rodamientos: permiten que el rotor gire fácilmente, pueden ser balineras o bujes.
- La ventiladora: Sirve para refrigerar la máquina.

Desde el punto de vista magnético también se distinguen dos partes en la máquina: el inductor y el inducido. El inductor, también llamado campo, es el que genera el campo magnético de la máquina. El inducido es la parte sobre la que se induce una fem en el caso del generador o sobre la que se genera el movimiento en el caso del motor.

Núcleo de un rotor liso de corriente alterna



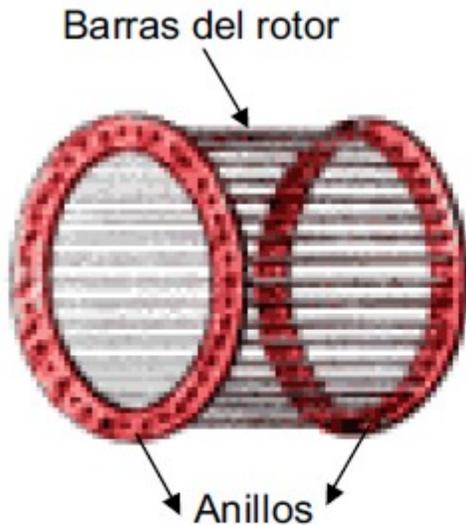
Núcleo de un rotor jaula de ardilla



Ranura semicerrada



Ranura cerrada



Disposición de barras y anillos



Rotor jaula de ardilla

FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO

Para energizar el motor, se conectan los terminales del estator a una fuente trifásica. Inmediatamente se produce un campo giratorio llamado “campo giratorio de la máquina de alterna”. Se tienen unos conductores y un movimiento relativo entre los conductores y el campo. La presencia de estos elementos hace que se induzca una fuerza electromotriz en los conductores del rotor.

Como los conductores del rotor están cortocircuitados, se producirá una circulación de corriente en el mismo sentido de la fem. Experimentando una fuerza que genera el par que hace girar el motor en el mismo sentido del campo giratorio.

$V =$ velocidad del campo giratorio – velocidad del rotor ; V es velocidad relativa.

Funcionamiento con carga

$$- \text{Si "v" aumenta} \rightarrow \vec{e} = (\vec{v} \times \vec{B}) 10^{-8} \text{ aumenta}$$

$$- \text{Si "e" aumenta} \rightarrow i = V/R \text{ aumenta}$$

$$- \text{Si "i" aumenta} \rightarrow \vec{F} = (i \times \vec{B}) \ell \cdot \frac{10^{-8}}{9.8} \text{ aumenta}$$

$$- \text{Si "F" aumenta} \rightarrow M = F \times R \text{ aumenta}$$

A medida que la velocidad del rotor aumenta

$$- \text{Si "v" disminuye} \rightarrow \vec{e} = (\vec{v} \times \vec{B}) 10^{-8} \text{ disminuye}$$

$$- \text{Si "e" disminuye} \rightarrow i = V/R \text{ disminuye}$$

$$- \text{Si "i" disminuye} \rightarrow \vec{F} = (i \times \vec{B}) \ell \cdot \frac{10^{-8}}{9.8} \text{ disminuye}$$

$$- \text{Si "F" disminuye} \rightarrow M = F \times R \text{ disminuye}$$



BIBLIOGRAFÍA

Encarta, Principios de electricidad, 2008.

Alexander, Charles y Sadiku, Matthew. Fundamentos de circuitos eléctricos. Tercera edición. Mc. Graw Hill. 2006.

Serway, Raymond y Jewett John. Física para ciencias e ingeniería. Sexta edición, Volumen II. 2005.

Ministerio de minas de Colombia, Retie actualizado. Puede verse en el siguiente enlace en internet.

[http://www.minminas.gov.co/minminas/sectores.nsf/870e3d03e406864905256def0072494c/6114ab0da3204c740525749400753dc9/\\$FILE/ATT76XK0/Nuevo-RETIE_con_Anexo.pdf](http://www.minminas.gov.co/minminas/sectores.nsf/870e3d03e406864905256def0072494c/6114ab0da3204c740525749400753dc9/$FILE/ATT76XK0/Nuevo-RETIE_con_Anexo.pdf)

Roxemberg, R. Reparación de motores eléctricos. Séptima edición. Ediciones G.GILI, S.A. Volumen 1. 1980.

Bernal, Gloria. Documentos generales de fundamentos de circuitos y maquinas eléctricas. Docente de la Universidad de Antioquia. 2008.