

## ¿De dónde viene la energía?

Por: **Yuri Uliánov López Castrillón**

Para los cursos de Circuitos Eléctricos, Dispositivos eléctricos,  
Tecnología Electrónica, Fundamentos de Eléctrica y Electrónica

Los Módulos de clase son una publicación de la Vicerrectoría de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Autónoma de Occidente. Este material presenta contenidos parciales y/o material de apoyo de cursos dictados en la institución.

## ¿De dónde viene la energía?

Departamento de Energética y Mecánica

Gestión Editorial  
Vicerrectoría de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico UAO  
ksanchez@uao.edu.co

2006 Universidad Autónoma de Occidente  
Km. 2 vía a Jamundí, A.A. 2790 Cali, Valle del Cauca Colombia

© **Yuri Uliánov López Castrillón**, docente UAO

El contenido de esta publicación no compromete el pensamiento de la  
Institución, es responsabilidad absoluta de sus autores.

Centro de Publicaciones - FUNDAUTÓNOMA

Impreso en Colombia  
Printed in Colombia

# Presentación

¿Qué fue lo primero que hicimos cuando nos levantamos hoy? “Apagar el despertador”, fue lo primero que me dijo un estudiante en la primera clase.

Ese despertador era de pilas, energía eléctrica en forma de corriente continua o D.C. (de sus siglas en Inglés Direct Current), pero pudo ser de Corriente alterna (conectado a la pared). Luego talvez cocinamos el desayuno, prendimos un calentador de agua para el baño o prendimos un radio o televisor.

Vivimos en un mundo que necesita de energía eléctrica para hacerlo más cómodo.

Por eso, en éste texto pretendo mostrar todo el proceso para recibir la energía eléctrica, desde la Generación mostrando valores de las plantas Eléctricas Colombianas, pasando por la transmisión, la distribución y por último llegando a los tomacorrientes en nuestras casas.

En todo este proceso, intervienen equipos y elementos de operación y control como los puntos de conexión o barrajes los cuales se describen, así como su función dentro del proceso.

El texto parte explicando la generación de la energía eléctrica en Colombia, con datos y va avanzando paso por paso., de forma muy didáctica, gráfica y básica.

Se desea hacer una explicación didáctica del proceso y se espera que cualquier persona sea capaz de entender lo que sucede en Colombia para que la energía llegue hasta nuestros hogares. Para ello se usan enlaces de Internet que brindan profundización en el tema, gráficos y figuras que hacen más ilustrativo y entendible el tema.

Al finalizar el texto deseo que tengas una idea clara de todo el proceso de Generación, Transmisión, Distribución y Uso de la Energía Eléctrica en Colombia.

Como documento, este “libro” es el resultado de un proceso de publicación. Se empieza como libro guía para cursos de Educación Continua hacia la empresa de energía EPSA, en Julio de 2002. Este curso se realizó por segunda vez en Febrero de 2003 haciendo revisiones para entonces.

Ahora se utiliza como texto de apoyo en Circuitos eléctricos, Fundamentos de eléctrica y electrónica.

**“ La teoría y la práctica deben ir de la mano”**

El autor

# Contenido

- 1. ORIGEN DE LA ELECTRICIDAD ..... 13**
- 2. SIMBOLOGÍA ELÉCTRICOS Y SISTEMA DE UNIDADES ..... 15**
- 3. GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA ..... 17**
- 4. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE TRANSFORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ..... 22**
  - 4.1 TENSIONES NOMINALES Y TENSIONES DE SERVICIO
  - 4.2 CONEXIONES DE LAS ESTACIONES DE TRANSFORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN
  - 4.3 CONEXIONES DE LOS CIRCUITOS PRINCIPALES
- 5. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ..... 26**
  - 5.1 SISTEMA TRIFÁSICO DE TRES HILOS (Conexión Triángulo)
  - 5.2 SISTEMA TRIFÁSICO DE CUATRO HILOS (Conexión Estrella con Neutro)
  - 5.3 SISTEMA MONOFÁSICO TRIFILAR CON NEUTRO
  - 5.4 SISTEMA CUADRIFILAR TRIFÁSICO (Conexión Triángulo con Neutro)
- 6. ACOMETIDAS RESIDENCIALES ..... 28**
  - 6.1 DEFINICIÓN
  - 6.2 PARTES DE UNA ACOMETIDA
  - 6.3 ACOMETIDAS SEGÚN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
  - 6.4 ACOMETIDA SEGÚN SU UBICACIÓN. ACOMETIDA AÉREA
- 7. NATURALEZA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA: LA TEORÍA ELECTRÓNICA ..... 31**
  - 7.1 UNIDADES DE MEDICIÓN ELÉCTRICA
- 8. MEDICIÓN DE VOLTAJE CORRIENTE Y POTENCIA ..... 36**
- 9. RESISTENCIA ELÉCTRICA ..... 38**
  - 9.1 DIFERENCIA ENTRE RESISTOR Y RESISTENCIA
  - 9.2 REPRESENTACIÓN DE UNA RESISTENCIA
  - 9.3 MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DEL OHMIO
  - 9.4 VALOR DE UNA RESISTENCIA
  - 9.5 CONEXIÓN DE RESISTENCIAS EN SERIE, PARALELO Y MIXTO
- 10. CAPACITANCIA INDUCTANCIA ..... 43**
  - 10.1 ASOCIACIÓN DE CONDENSADORES

- 11. BOBINA ..... 46**
  - 11.1 INDUCTANCIA
  - 11.2 INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA
  
- 12. LEY DE OHM ..... 49**
  
- 13. LEYES DE KIRCHHOFF ..... 50**
  - 13.1 LEY DE CORRIENTE DE KIRCHHOFF (LCK )
  - 13.2 LEY DE VOLTAJES DE KIRCHHOFF (LVK)
  
- 14. CORRIENTE CONTÍNUA ..... 53**
  - 14.1 CONCEPTOS BÁSICOS
  - 14.2 APLICACIONES - CLASE DE CIRCUITOS
  - 14.3 REPRESENTACIÓN
  
- 15. CORRIENTE ALTERNA ..... 56**
  - 15.1 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ALTERNA
  - 15.2 DESFASE ENTRE CORRIENTE Y VOLTAJE
  - 15.3 ONDAS EN FASE DESFASADAS
  - 15.4 IMPEDANCIA

**BIBLIOGRAFÍA ..... 63**

**ANEXO 1. .... 64**  
EMPRESAS ELECTRIFICADORAS DE LA NACIÓN

**ANEXO 2. .... 65**  
SISTEMA DE INTERCONEXIÓN NACIONAL (Sistema Eléctrico Colombiano).

**ANEXO 3. .... 66**  
CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN COLOMBIA

# Lista de figuras

- FIGURA 1. SÍMBOLOS ELÉCTRICOS
- FIGURA 2. ESQUEMA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA
- FIGURA 3. GRUPO TURBINA GENERADOR ELÉCTRICO
- FIGURA 4. TERMOYUMBO
- FIGURA 5. TERMOVALLE
- FIGURA 6. ZONAS ENERGIZADAS EN COLOMBIA
- FIGURA 7. JUEGO DE BARRAS SENCILLO
- FIGURA 8. JUEGO DE BARRAS PRINCIPALES Y BARRAS DE TRANSFERENCIA
- FIGURA 9 . JUEGO DE BARRAS EN ANILLO
- FIGURA 10. SISTEMA TRIFÁSICO DE TRES HILOS
- FIGURA 11. SISTEMA TRIFÁSICO DE CUATRO HILOS
- FIGURA 12. SISTEMA MONOFÁSICO TRIFILAR CON NEUTRO
- FIGURA 13. SISTEMA CUADRIFILAR TRIFÁSICO
- FIGURA 14. MONOFÁSICA DE DOS HILOS
- FIGURA 15. MONOFÁSICA DE TRES HILOS
- FIGURA 16. TRIFÁSICA DE CUATRO HILOS
- FIGURA 17. TRIFÁSICA DE TRES HILOS
- FIGURA 18. ACOMETIDA
- FIGURA 19. TOMACORRIENTE
- FIGURA 20. MOVIMIENTO DE ELECTRONES ENTRE ÁTOMOS  
Fuente: RESISTENCIA. SENA FAD
- FIGURA 21. CONEXIÓN DE CIRCUITO ELÉCTRICO
- FIGURA 22. ÁTOMO EN PUNTA DE UN CONDUCTOR
- FIGURA 23. SEÑAL DE CORRIENTE CONTINUA
- FIGURA 24. SEÑAL DE CORRIENTE ALTERNA
- FIGURA 25. MARCAS DE POLARIDAD
- FIGURA 26. CONTADOR DE ENERGÍA
- FIGURA 27. MEDICIÓN DE VOLTAJE Y CORRIENTE
- FIGURA 28. MEDIDORES DE CORRIENTE Y VOLTAJE. Fuente: Internet
- FIGURA 29. ÁTOMOS CRUZANDO ELEMENTO
- FIGURA 30. CHOQUE DE ELECTRÓN CON ÁTOMOS DEL MATERIAL CONDUCTOR
- FIGURA 31. RESISTOR PARA HORNO
- FIGURA 32. RESISTENCIAS EN SERIE
- FIGURA 33. RESISTENCIAS EN PARALELO
- FIGURA 34. CIRCUITO MIXTO
- FIGURA 35. ALGUNOS TIPOS DE CONDENSADORES
- FIGURA 36. COMPOSICIÓN DE UN CONDENSADOR
- FIGURA 37. CONDENSADORES PARA SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
- FIGURA 38. CARGA Y DESCARGA DE UN CONDENSADOR
- FIGURA 39. TIPOS DE BOBINAS MÁS COMERCIALES
- FIGURA 40. FOTO TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN
- FIGURA 41. ARROLLAMIENTO O BOBINA Y SU REPRESENTACIÓN CIRCUITAL
- FIGURA 42. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA
- FIGURA 43. CORRIENTES EN NODO

FIGURA 44. SUMATORIA DE CORRIENTES  
FIGURA 45. LEYES DE KIRCHHOFF EN CIRCUITO SERIE  
FIGURA 46. CORRIENTE ELÉCTRICA SALIENDO DE LA FUENTE  
FIGURA 47. CORRIENTE ENTRANDO A UNA RESISTENCIA POLARIZACIÓN  
FIGURA 48. TIPOS DE FUENTES DE CORRIENTE CONTINUA  
FIGURA 49. BATERIAS EN SERIE  
FIGURA 50. BATERIAS EN PARALELO  
FIGURA 51. FUENTE INDEPENDIENTE DE VOLTAJE  
FIGURA 52. FUENTE INDEPENDIENTE DE CORRIENTE  
FIGURA 53. INDUSTRIA  
FIGURA 54. CIRCUITO ELÉCTRICO DE A.C.  
FIGURA 55. SEÑAL DE A.C.  
FIGURA 56. SEÑALES DESFASADAS UN ÁNGULO  
FIGURA 57. DESFASE EN SEÑALES DE CORRIENTE ALTERNA  
FIGURA 58. OSCILOSCOPIO  
FIGURA 59. SIMULACIÓN CON UN OSCILOSCOPIO  
FIGURA 60. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN FASOR  
FIGURA 61. LA IMPEDANCIA  $Z$  EN CIRCUITOS DE A.C.

## **Lista de tablas**

TABLA 1. PREFIJOS ESTANDARES EN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA  
TABLA 2. UNIDADES - MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS  
TABLA 3. NORMAS Y CONVENCIONES ELÉCTRICAS  
TABLA 4. RESISTIVIDADES  
TABLA 5. CÓDIGO INTERNACIONAL DE COLORES

# Glosario

## **Pila o batería:**

Es una fuente portátil de energía, resultante de reacciones químicas que ocurren en el interior de ella, generando el movimiento de cargas negativas llamadas electrones.

## **Electricidad:**

Es una forma de energía orientada por el movimiento de electrones.

## **Ánodo:**

Es un Electrodo negativo

## **Electrolito:**

Es un compuesto químico disuelto en medio acuoso que conduce la corriente eléctrica.

## **Una pila secundaria:**

Es una pila o batería recargable, llamada también acumulador. Tiene más de un ciclo de vida y cuya recarga depende de un aparato independiente llamado cargador.

## **Energía:**

Es la facultad que tiene un cuerpo de producir trabajo.

## **Un circuito eléctrico:**

Está formado por una fuente que suministra la corriente eléctrica por un alambre que la conduce y un elemento que la utiliza.

## **Cátodo:**

Electrodo positivo.

## **Pila primaria:**

Es una pila o batería no recargable y la cual sólo tiene un ciclo de vida.

## **Densidad de energía:**

Es la concentración de energía por unidad de volumen.



# Introducción

La generación de energía eléctrica en Colombia se fundamenta en la producción de este vital elemento a partir de dos fuentes, La Generación Hidráulica y la Generación Térmica. En el valle del cauca utilizamos éstas dos fuentes, pero el mayor porcentaje es generación hídrica.

Luego de generar la energía, en Colombia las empresas realizan el proceso conocido como **comercialización de la energía**. Este método fue creado en el país con la **ley 142, 143** y regula todo el mercado de venta y compra de energía en Colombia.

La energía generada es llevada al usuario después de ser transportada por las torres de energía de sistema de trasmisión nacional STN a **niveles de tensión** de 220 y 115KV (léase kilovoltios) que están conectados en un sistema denominado de **anillo** que interconecta las distintas regiones del país y finalmente distribuye la energía por las **redes de media tensión** (34.5KV y 13.2 KV), de donde nuestro sector, el sector residencial toma la energía a través de **ACOMETIDAS**.

Una vez llega al usuario residencial, se utiliza en distintos aparatos eléctricos cuyo consumo de corriente eléctrica se mide en amperios y a lo largo del curso se usaran los distintos múltiplos y submúltiplos de todas las unidades identificadas.

Uno de los parámetros más importantes en el estudio de la electricidad es la **resistencia eléctrica**, de la cual estudiaremos su funcionamiento, materiales de construcción y utilización. También entenderemos el funcionamiento de la corriente eléctrica, las leyes básicas que rigen el comportamiento de los principales parámetros eléctricos. Entre las leyes principales estudiaremos la ley **de Ohm** y Leyes de **Kirchhoff**.

Es importante la definición de los circuitos eléctricos en serie, paralelo y mixto, ya que los elementos en cada circuito tienen corriente, voltaje y potencia y para encontrar esos valores se hace necesario entender la aplicación de las leyes básicas así como también su comprobación práctica en circuitos reales realizando para ello laboratorios o montajes.

Pero hasta este punto del curso solo se utiliza la resistencia eléctrica como **elemento pasivo**, pero en circuitos alimentados por corriente alterna, es muy usual encontrar bobinas y condensadores, lo que generan las **impedancias**. Estos son los elementos que consumen la potencia eléctrica en los circuitos de A.C. El posterior análisis depende de si es alimentado por corriente alterna o corriente continua ya que aunque puedo utilizar las mismas leyes, debo cambiar la metodología de estudio.





## 1. Origen de la electricidad

Mucho antes que la identificáramos ya existía la corriente eléctrica, ella cae del cielo como descargas eléctricas.

Benjamín Franklin científico experimentó con una cometa el poder de la electricidad. Hoy se realizan experimentos para simular los rayos cuyas corrientes eléctricas alcanzan valores de aproximadamente 50.000 Amperios y cerca de 15000 Grados centígrados 6 veces más caliente que la superficie del sol.<sup>1</sup>

La electricidad es el flujo de electrones a través de un elemento, ese elemento puede ser el cuerpo humano lo cual puede causar distintos daños según el valor de la corriente. Para que la corriente eléctrica fluya lo mejor posible se utilizan materiales conductores como el COBRE, LA PLATA, EL ALUMNIO, ETC.

La aurora boreal es el resultado de Corrientes eléctricas de alta energía que son provenientes del sol y quedan atrapadas en el campo magnético de la tierra.

Históricamente el uso de la electricidad viene desde tiempos remotos.

❖ **Hombre Primitivo:** Con el descubrimiento del Fuego, encontró un elemento de control sobre sus demás coterráneos, así podía mostrar fuerza y dominar.

Tiempo mas adelante adquirió el control del caballo, lo que le daría más fuerza y más poder. Después de la domesticación del caballo, el paso siguiente fue encontrar la rueda. Al mismo tiempo se desarrollaron otros medios de transporte como las pequeñas embarcaciones y para transporte masivo entre ellos, el primer desarrollo fue el barco de vela.

Muchos años más tarde, el transporte fluvial se desarrollo con el invento del vapor como elemento de tracción.

✍ **Potencia de vapor:** Fue James Watt (escocés) en 1765 quien desarrollo la primera máquina a vapor que para ello también usó: la caldera, cilindro y pistón y el condensador. Así le da un impulso definitivo a una revolución industrial.

✍ **Máquinas:** El primer uso de la máquina a vapor fue para bombas de agua en las minas de carbón en Inglaterra. La máquina de vapor fue la clave del crecimiento industrial y su uso se difundió por todo el mundo.

✍ **Turbina:** a finales del siglo XIX se desarrollo la turbina a vapor, un chorro de vapor que mueve la Pala de la turbina. Ese movimiento es energía. Este método todavía se usa.

---

<sup>1</sup> DISCOVERY. Todo sobre la electricidad. Video. 2002

 **Motor de combustión Interna:** La energía del vapor fue usada hasta la aparición del motor de combustión. Éste motor se hizo popular por su menor tamaño, ideal para el desarrollo de vehículos, aviones, etc, y los primeros motores prácticos de combustión interna se produjeron hacia 1878. Los vehículos eran alemanes.

Hoy en día, el desarrollo de la potencia eléctrica se da a todo nivel. Investigaciones para mejorar el uso de las fuentes alternas de energía, y el constante desarrollo o la innovación de las máquinas basadas en energías convencionales, hacen de este campo un verdadero semillero de investigación y desarrollo, en el cual todavía queda mucho por descubrir.



## 2. Simbología eléctrica y sistema de unidades

Para un conocimiento de la energía y la electricidad, es necesario realizar algunas observaciones que son ligadas a propiedades físicas que son medidas técnicamente de alguna manera con alguna unidad de medida que sea entendida por todos. Es así como utilizamos desde niños, el Sistema Internacional de Unidades. Adoptado por el *National Bureau of Standards* (oficina nacional de estándares) en 1964, es el sistema de medición más usado. Tiene seis (6) unidades básicas de medición: metro, kilogramo, segundo, ampere, Kelvin y candela.

A finales del siglo XVIII se definió al metro como la diezmillonésima parte de la distancia del polo al Ecuador, pero solo hasta 1983 se definió con mayor exactitud refiriéndola a la distancia que la luz tiene en el vacío a muy corta velocidad.

El sistema de unidades usado en Colombia, es el sistema internacional de medidas, MKS (metro kilo-segundo), para las medidas de distancia, peso y tiempo respectivamente. El kilogramo (kg) unidad de masa, se confirmó en 1960 como la masa de un bloque de platino.

El segundo (s) se definió en 1964 con relación a los periodos de transición de átomos de Cs 133.

Los prefijos estándares y más usados en libros y documentos de electricidad y electrónica son:

Pico	p	$10^{-12}$
nano	n	$10^{-9}$
micro		$10^{-6}$
mili	m	$10^{-3}$
centi	m	$10^{-2}$
Kilo	k	$10^3$
Mega	M	$10^6$
Giga	G	$10^9$
Tera	T	$10^{12}$

**TABLA 1.  
PREFIJOS ESTANDARES EN  
ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA**

Los símbolos que se usan mas comúnmente para representar todos los elementos dentro de un circuito, los podemos ver en la siguiente figura, cuyos gráficos son tomados del software de simulación WORKBENCH.

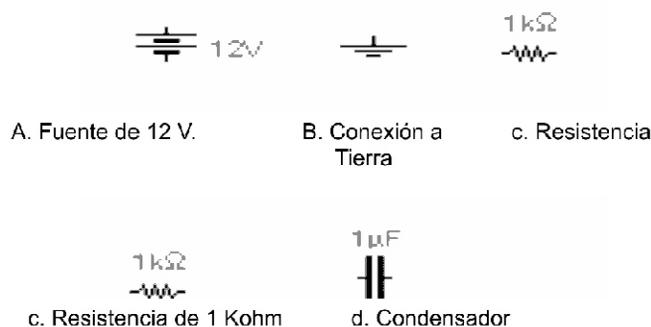


FIGURA 1. ALGUNOS SÍMBOLOS ELÉCTRICOS

Cuando se utilizan éstos elementos y se toman medidas como las vistas anteriormente, entonces se hace necesario utilizar los múltiplos y submúltiplos para expresar las unidades de dichos parámetros.

**TABLA 2. UNIDADES - MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS**

<b>Prefijo (Símbolo)</b>	<b>Valor</b>	
<b>Mega (M)</b>	Millón	1 000 000
Kilo (K)	Mil	1 000
Mili (m)	Milésima	0.001
Micro ( $\mu$ )	Millonésima	0.000 001
Nano (n)	Mil millonésima	0.000 000 001
Pico (p)	billonésima	0.000 000 000 001

**TABLA 3. NORMAS Y CONVENCIONES ELÉCTRICAS**

En este texto se muestran las tablas de los elementos mas usados en el área eléctrica, y algunos prefijos y sufijos para el manejo de los parámetros eléctricos más importantes. Los siguientes son algunos de ellos.

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Energía	Joule	J
Fuerza	Newton	N
Potencia	Watt	W
Carga eléctrica	Coulomb	C
Potencial eléctrico	Volt	V
Resistencia eléctrica	Ohm	$\Omega$
Conductancia eléctrica	Siemens	S
Capacitancia eléctrica	Farad	F
Inductancia eléctrica	Henry	H
Frecuencia	Hertz	Hz
Flujo magnético	Weber	Wb
Densidad de flujo magnético	Tesla	T



### 3. Generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica

El proceso para producir energía eléctrica en Colombia, esta conformado fundamentalmente por centrales hidroeléctricas y Termoeléctricas.

En Colombia la generación hidroeléctrica en Colombia ha sido de renombre mundial. Es así como en los 70's la prensa (EL PAIS, 11 de Agosto de 1972), hacía mención a una represa vallecaucana que sería en ese entonces la más grande del mundo.

## Colombia tendrá la represa más alta del mundo Anchicayá, una realidad

JAIME ARANGO

La gran Central Hidroeléctrica de Anchicayá es una realidad.

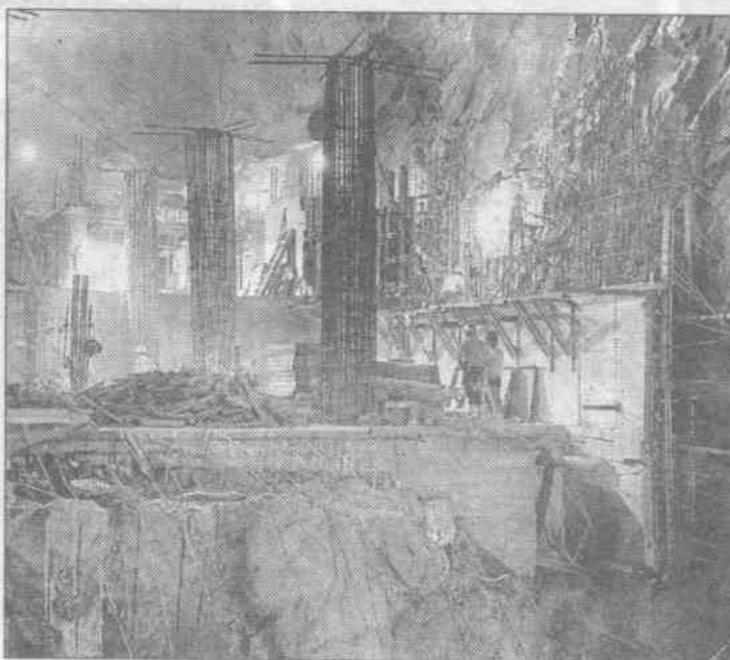
Hace meses, en lo más alto del alcantilado, después de cruzar una selva inhóspita a lomo de mula durante siete horas, altos funcionarios de la CVC, sacudiéndose de los encauchados las nubes de tábanos carmelitos que fueron nuestros acompañantes en el sendero infernal, nos mostraban, al fondo, el lecho del Río Anchicayá, el del Río Verde y el del Río Murrupal, cuyas aguas llenarán hasta el tope la represa más alta del mundo.

Así: la más alta del mundo. Impulsada la programación de aquella nueva fuente de energía para el Occidente Colombiano, por Henry Eder Caicedo y sus ejecutivos; realizados los estudios de localización minuciosa y sabiamente por canadienses y obtenidos los créditos necesarios, Colombia le entregó a México, por intermedio de

Ica-México, poderosa organización de expertos constructores de represas.

La orgullosa Selva de Anchicayá fue entonces desflorada. El eterno silencio, apenas interrumpido por la lluvia casi permanente al caer sobre las hojas de los árboles y el agua de los grandes y pequeños ríos sepultos desde la creación, en cuyo lecho y arenas jamás puso el hombre sus zapatos o sus alpargates, se rompió súbitamente y decenas de 'bichos' amarillos color Ica, invadieron el vientre de la montaña con el ruido de sus motores, los carajos de los capataces, y las palabrotas de los peones.

¿Qué han hecho los colombianos y los mexicanos en Anchicayá? Ahí van las cifras. Han movido un millón de metros cúbicos de roca. Faltan por mover dos millones y medio. Han perforado seis kilómetros de túneles. Les faltan cuatro. Concluyeron la Casa de Máquinas, listas para recibir las tres turbinas que generarán un total de 340.000 kilovatios.



Para la construcción de la Central de Anchicayá será necesaria la perforación de diez kilómetros de túneles.

Perforada en el corazón de un enorme cerro.

Le cambiaron al curso al Río Anchicayá, como si fuera la tubería de un edificio. Han comenzado la etapa fundamental de la presa, con 140 metros de altura, la más grande del

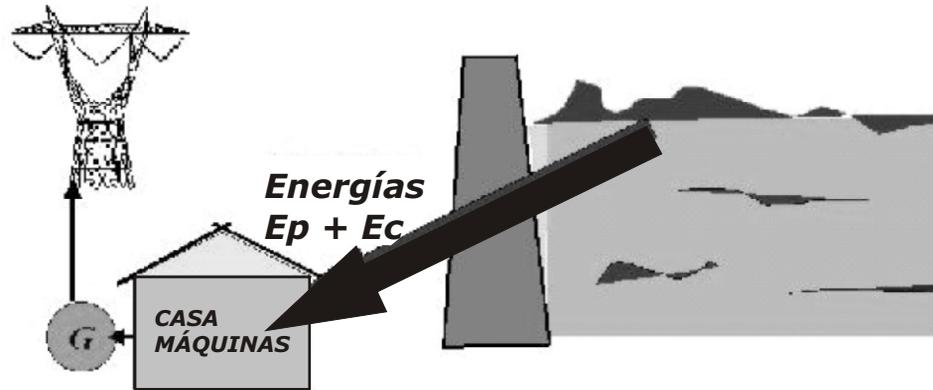
mundo en su género. Requerirá este trabajo el movimiento de 2.500.000 de metros cúbicos de roca.

De 1.700 trabajadores calificados, 1.680 son colombianos con salarios de \$ 86,05 a \$154,00 por día, libres de comida, alo-

jamiento y transporte. Se sirven en el campamento 7.500 comidas diarias; se sacrifican cinco reses diarias; se utilizan toneladas de yuca, papas, azúcar, panela y cereales; 300 personas están encargadas del manejo de los casinos.

La Energía hidroeléctrica se produce a partir del aprovechamiento de los ríos. Ver figura 1. El agua se almacena en las represas (lo que le aporta una Energía Potencial:  $E_p$ ), y se conduce por ductos (adquiriendo una Energía Cinética:  $E_c$ ), hacia la central generadora (casa de máquinas).

### GENERACIÓN HIDRÁULICA



*Patio de conexiones: Transformador, Interruptor, Seccionador, Pararrayos, Barraje*

FIGURA 2. ESQUEMA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

En la central, el agua choca con la Turbina y la hace girar natural y forzadamente. La turbina esta mecánicamente acoplada o unida al generador eléctrico que transforma esa fuerza en energía eléctrica.

El generador transforma energía mecánica en eléctrica, esta energía la produce por la rotación de un grupo de bobinas (arrollamientos), dentro de un campo magnético. Esa rotación es debida al agua que golpea el sistema turbina-generador.

Una vez exista un voltaje en el generador eléctrico, se lleva a través de conductores (cables o láminas), hasta un transformador eléctrico, encargado de aumentar el voltaje a un nivel superior para unir al central al sistema de transmisión nacional o de interconexión y que pueda ser transportado por las torres de energía.



FIGURA 3.  
GRUPO TURBINA GENERADOR ELÉCTRICO.  
Fuente: [www.mheine.com](http://www.mheine.com) Copyright: Holt Reinhart Winston

Por razones de tipo técnico-económico, la tensión de los generadores de las centrales eléctricas es baja, por ejemplo 2.400V ó 6.000V y resultaría muy costoso transportarla a este nivel hasta los consumidores finales. Para transportar o transmitir la energía, es necesario elevar el nivel de tensión de 2.400V ó 6.000V a un muy alto nivel para una transmisión más económica. Esta instalación se denomina Estación Transformadora Primaria, luego ha de disponerse de una Estación Distribuidora conectada con la anterior.

Las otras grandes plantas de generación del país son termoeléctricas.

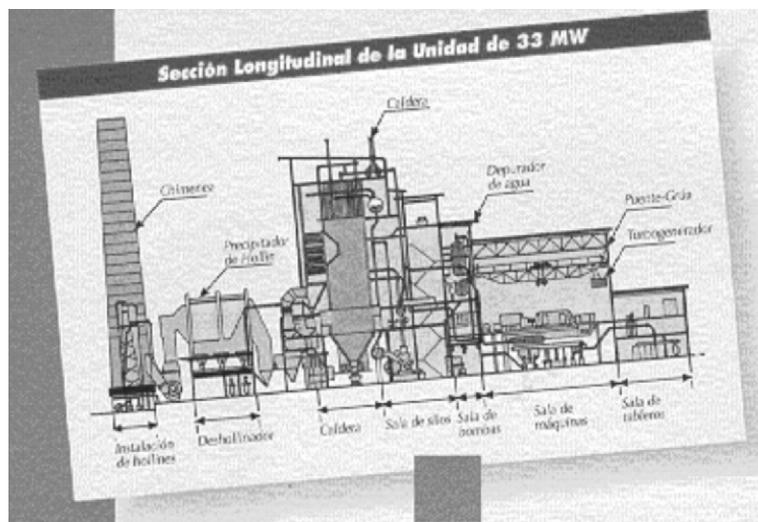


FIGURA 4. TERMOYUMBO.  
Tomado de centrales de generación del sistema EPSA. Empresa de energía del Pacífico EPSA. Colombia

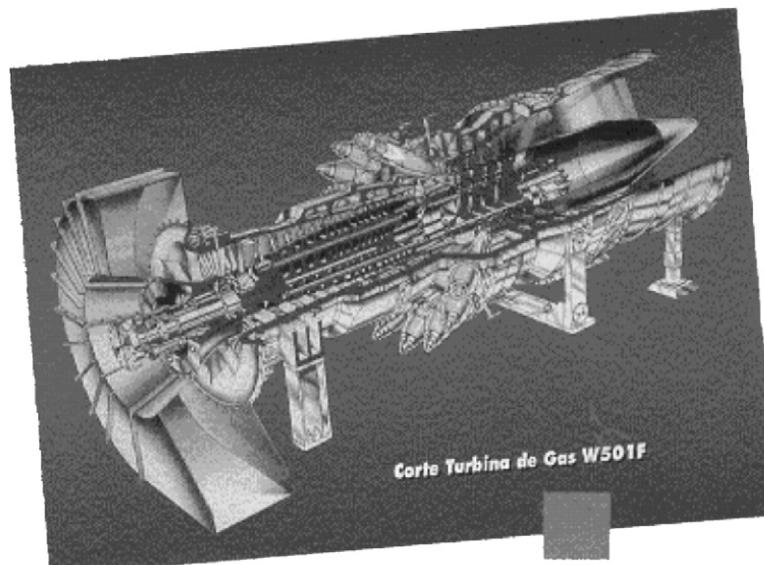


FIGURA 5. TERMOVALLE.  
Tomado de centrales de generación del sistema EPSA. Empresa de energía del Pacífico EPSA. Colombia

En una térmica, se calienta agua y el vapor que se produce se emplea para mover las máquinas generadores de energía.

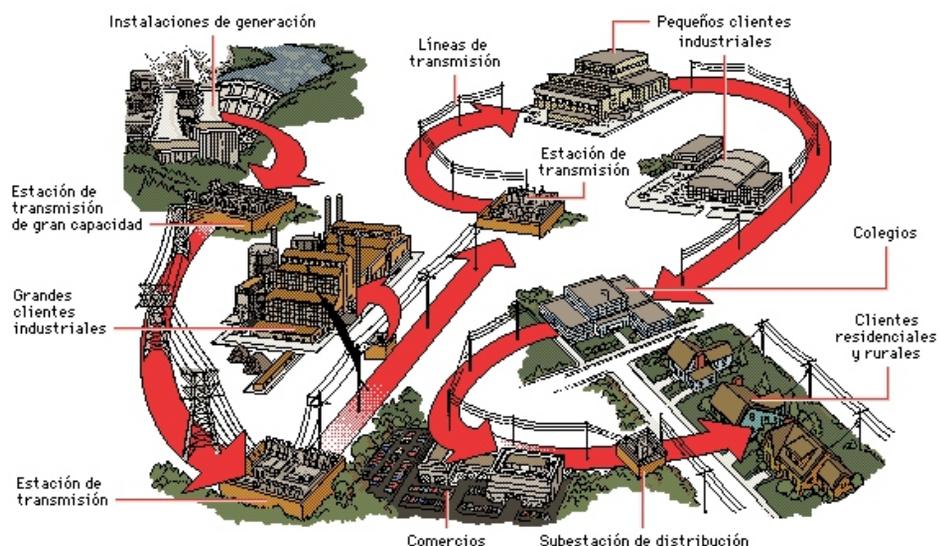
El último desarrollo en centros de generación eléctrica en Colombia es la Central Cólica ubicada en la Guajira, Jepirachi. En este punto las Empresas Públicas de Medellín, desarrollaron además de la investigación previa para el primer punto de desarrollo de generación cólica, un convenio con la comunidad para el intercambio de beneficios, realizando obras civiles que los beneficiaran.



FIGURA 6. JEPİRACHI.  
Primera Central de Generación Eólica de Colombia

En Colombia existe una gran cantidad de centrales generadoras, debido a la topografía, nuestro país es predominantemente generador hidroeléctrico.

Por razones de tipo técnico-económico, la tensión de los generadores de las centrales eléctricas es baja, por ejemplo 2.400V ó 6.000V y resultaría muy costoso transportarla a este nivel hasta los consumidores finales. Para transportar o transmitir la energía, es necesario elevar el nivel de tensión de 2.400V o 6.000V a un muy alto nivel para una transmisión más económica (En Colombia 115KV y 220KV). Esta instalación se denomina Estación Transformadora Primaria, luego ha de disponerse de una Estación Distribuidora conectada con la anterior. Un esquema básico se puede ver a continuación.



tomado de: <http://www.monografias.com/trabajos13/genytran/genytran.shtml>

Las líneas de transmisión a muy alta tensión conducen la energía eléctrica hasta el punto de suministro, donde las estaciones transformadoras secundarias o subestaciones transformadoras rebajan el voltaje o tensión media de 6 KV en algunos casos y finalmente para ser usada en instalaciones industriales, alumbrado y fuerza motriz de una industria se instalan casetas transformadoras, o estaciones transformadoras terciarias o subestaciones en poste para niveles de 380 voltios hacia abajo. Un completo listado de las empresas generadoras, trasmisoras, distribuidoras y comercializadoras de la energía eléctrica puede ser consultado en la página web de la COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGIA Y GAS REG. [www.creg.gov.co](http://www.creg.gov.co)



FIGURA 7. ZONAS ENERGIZADAS EN COLOMBIA (fuente [www.isa.com.co](http://www.isa.com.co))

En COLOMBIA existe un único sistema interconectado con redes que enlazan las plantas de generación con los centros de carga de la región andina, litorales Atlántico y Pacífico y parte de los Llanos Orientales, éste sistema esta configurado en Anillo. La demanda del resto del país es atendida con generación local y es apenas superior al 1% de la demanda total. En lo ANEXO 2, podrá visualizar un esquema del sistema en anillo de interconexión de nuestro país. Ese gráfico le explica muy sencillamente como se une el sistema de transmisión.

La figura 6, muestra las zonas de mayor influencia de la energía eléctrica en el país. Estas zonas son las de mayor concentración de población luego exigen mayor cobertura en energía eléctrica

En el anexo 1, se pude apreciar un listado completo de las electrificadoras colombianas.



## 4. Clasificación de las estaciones de transformación y distribución

Luego de la generación, el sistema de distribución posee un gran número de centrales y subcentrales o subestaciones eléctricas, las cuales su clasificación depende de la función que cumple dentro del sistema eléctrico correspondiente.

✎ **Subcentrales:** Equipo o conjunto de aparatos de transformación y distribución instalados en un edificio o al aire libre y destinados a transformar la tensión de una o varias centrales eléctricas en la tensión de transporte y a distribuir la energía. La mayoría son elevadoras.

✎ **Estaciones de Interconexión:** Su función es conectar eficazmente las líneas de transmisión de alta tensión, y lo hacen directamente si las líneas tienen diferente nivel de voltaje la conexión se realiza por medio de transformadores de potencia elevadora o reductores de tensión.

✎ **Subestaciones o estaciones principales:** Se alimentan del nivel de alto voltaje y realizan una transformación intermedia para el sistema eléctrico a través del lado secundario de los transformadores.

✎ **Estaciones de distribución o estaciones de seccionamiento:** Son estaciones de paso, no hay transformación de energía hasta los puntos de consumo, se distribuye al mismo nivel de tensión pero a muchos más puntos que la alimentación.

✎ **Casetas transformadoras o cabinas transformadoras:** Son los últimos puntos de transformación, antes de llegar al usuario con el nivel de voltaje necesario para los aparatos. Por ejemplo 110 y 220 para residencial. 110, 220, 440, etc. Industrial.

Por la forma de montaje las estaciones transformadoras y de distribución pueden ser:

➔ **Estaciones Interiores:** Si los elementos están instalados en el interior de edificios apropiados.

➔ **Estaciones Exteriores o a intemperie:** Si los elementos\* que conforman la estación son al aire libre, visibles, en un patio.

\* Transformadores, interruptores, etc.

**NOTA:** Estos nombres no son los más usuales y se tiende a generalizarlas como subestaciones a todas.

### 4.1. TENSIONES NOMINALES Y TENSIONES DE SERVICIO

El voltaje no permanece constante, sino que varía de acuerdo al funcionamiento del sistema y debe mantenerse en unos límites que no ocasione daños en los equipos del consumidor o usuario; y que no perjudique el aislamiento de los equipos.

Por esto los equipos existentes en una estación se construyen para una determinada **Tensión Nominal** y para una **Tensión Máxima de Servicio**.

- ✓ **TENSIÓN NOMINAL:** Es la tensión o voltaje que debe existir en el toma del usuario y que consta en los contratos de suministro, (por ejemplo en algunos grandes consumidores en el Valle del Cauca debe entregárseles 13200 voltios).
- ✓ **TENSIÓN DE SERVICIO:** Es el valor en voltios realmente existente en dicho punto en un instante cualquiera.

**Para efectos de los aparatos y elementos de las instalaciones, la tensión de servicio no debe ser mayor que el 10% de la tensión nominal.**

- ❖ **FRECUENCIA DE SERVICIO:** Entendiendo al frecuencia eléctrica como un parámetro de la señal de corriente alterna A.C. el cual esta regularizado en Colombia en 60 Hertz (también puede expresarse en ciclos por segundo).

En un principio los constructores de transformadores preferían frecuencias altas para conseguir menores pérdidas en el hierro y por lo tanto mejor rendimiento; por el contrario los diseñadores y constructores de máquinas eléctricas rotativos preferían las frecuencias bajas que eso significaba menores velocidades rotóricas, y por lo tanto, menores esfuerzos mecánicos. Después se entendió que era necesario unificar y estandarizar y Europa unificó a 50 Hz y Estados Unidos a 60Hz.

## **4.2. CONEXIONES DE LAS ESTACIONES DE TRANSFORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN**

La ubicación de una estación de transformación requiere de un estudio el cual determinará el sitio más cómodo, para conseguir el combustible. Por ejemplo: la termoeléctrica es preferible cerca a yacimientos de carbón.

Su ubicación, debe permitir el fácil acceso de los materiales y equipos con que se realizará el montaje de la central. Además de la economía en instalación y mantenimiento.

De todos modos sea cual sea el montaje realizado, una estación de distribución debe contar con:

-  Circuitos principales
-  Circuitos secundarios

Los principales son los circuitos que se usan para distribución y transformación de la corriente eléctrica que va hacia los usuarios.

Los circuitos auxiliares son las instalaciones que alimentan la planta o central generadora, se usan

para el alumbrado, tomas, tablero de mando, medición y aviso.

### 4.3. CONEXIONES DE LOS CIRCUITOS PRINCIPALES

Los siguientes diagramas unifilares son muy útiles para los ingenieros, y de gran ayuda para todo aquel que desee conocer más del proceso de transformación y distribución eléctrica.

#### JUEGO DE BARRAS SENCILLO

Es el más económico, se usa en el sistema de pequeña potencia y donde se admiten cortes de energía frecuentemente.

##### Ventajas:

- Instalación simple y maniobra sencilla.
- Costo mínimo.

##### Desventajas:

- Una avería en la barra produce corte de energía.
- El mantenimiento de un disyuntor elimina del servicio la salida correspondiente. Ver figura 3.

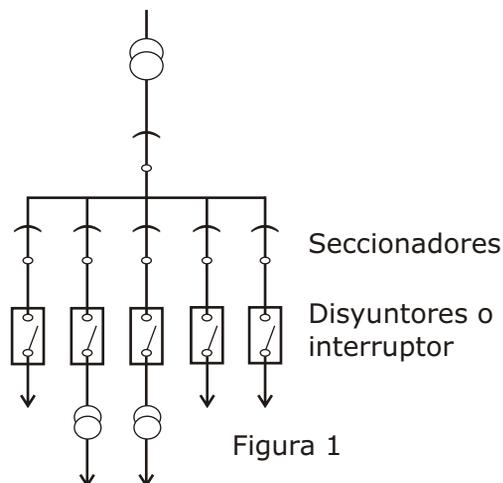


FIGURA 7. JUEGO DE BARRAS SENCILLO

También existen las siguientes configuraciones:

- BARRAS DIVIDIDAS
- BARRAS SENCILLAS CON SECCIONADOR EN DERIVACIÓN
- JUEGO DE BARRAS DOBLES
- JUEGO DE BARRAS DOBLES CON DISYUNTORES DOBLES
- DISYUNTOR Y MEDIO
- JUEGO DE BARRAS PRINCIPALES Y BARRAS DE TRANSFERENCIA

**Mantenimiento y Reparación:** En cualquier interruptor sin dejar fuera de servicio ninguna línea.

**Pero:** El sistema queda fuera de servicio cuando falla la barra principal.

FIGURA 8.  
JUEGO DE BARRAS PRINCIPALES Y  
BARRAS DE TRANSFERENCIA

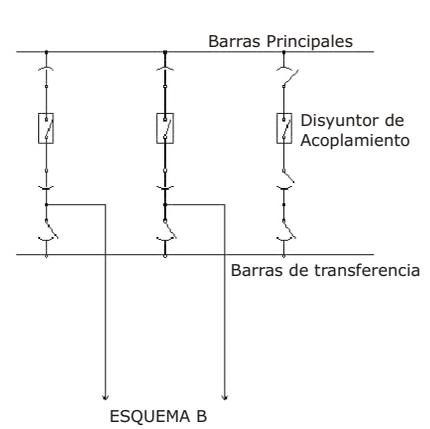
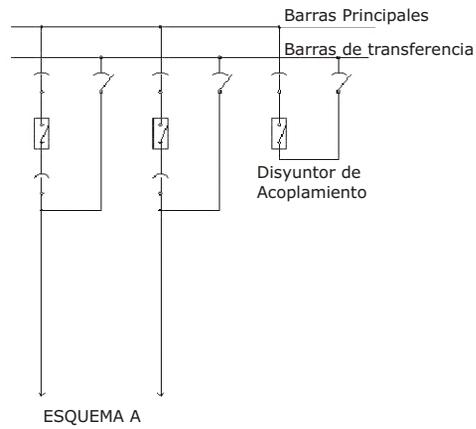


FIGURA 7

### JUEGO DE BARRAS EN ANILLO

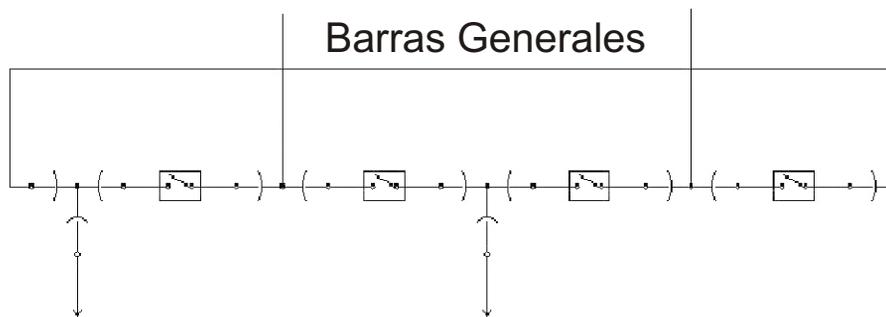


FIGURA 9.  
JUEGO DE BARRAS EN ANILLO

## 5. Sistemas de distribución

Una vez llega la energía a las ciudades habiendo pasado el proceso de Generación y transmisión, el voltaje llega a niveles más bajos (En Cali es normalizado: 34.5 KV y 13.2 KV). Esto se esquematiza a continuación.

Los sistemas que a continuación se describen, son los más usados y se pueden clasificar en :

### 5.1 SISTEMA TRIFÁSICO DE TRES HILOS (Conexión Triángulo)

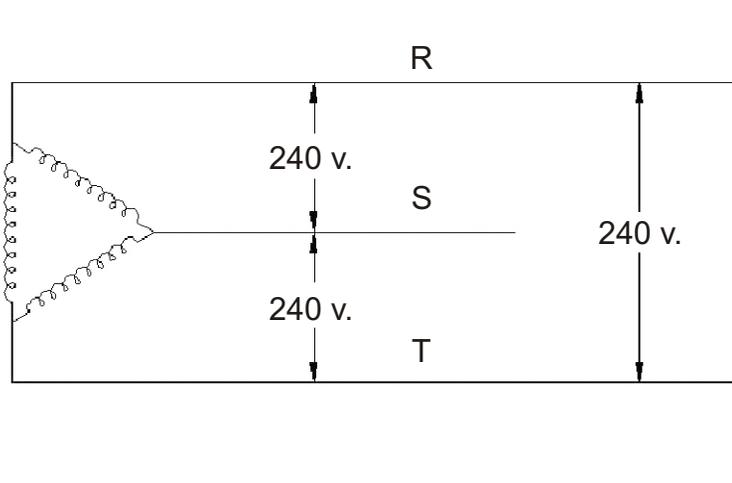
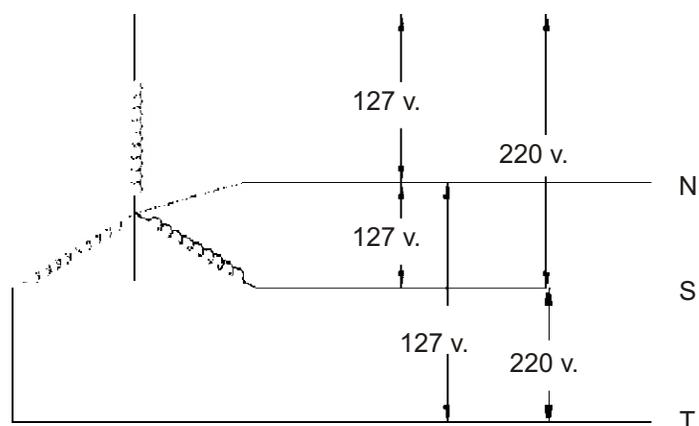


FIGURA 10.  
SISTEMA TRIFÁSICO DE TRES HILOS

### 5.2 SISTEMA TRIFÁSICO DE CUATRO HILOS (Conexión Estrella con Neutro)

FIGURA 11.  
SISTEMA TRIFÁSICO DE CUATRO HILOS



### 5.3. SISTEMA MONOFÁSICO TRIFILAR CON NEUTRO

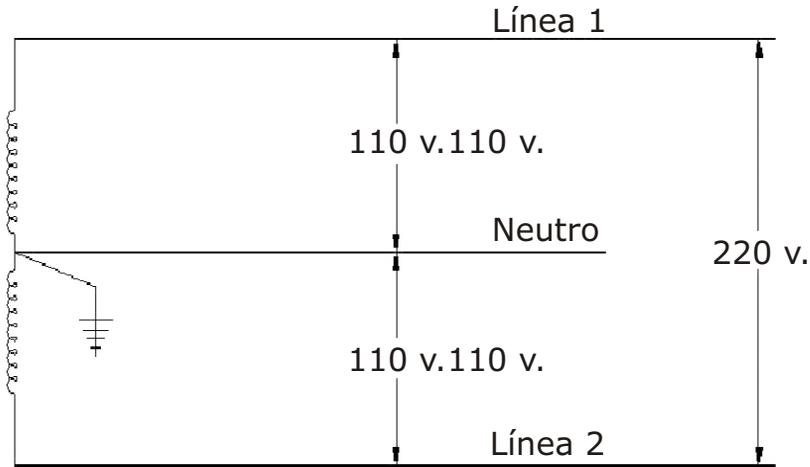


FIGURA 12.  
SISTEMA MONOFÁSICO  
TRIFILAR CON NEUTRO

### 5.4. SISTEMA CUADRIFILAR TRIFÁSICO (Conexión Triángulo con Neutro)

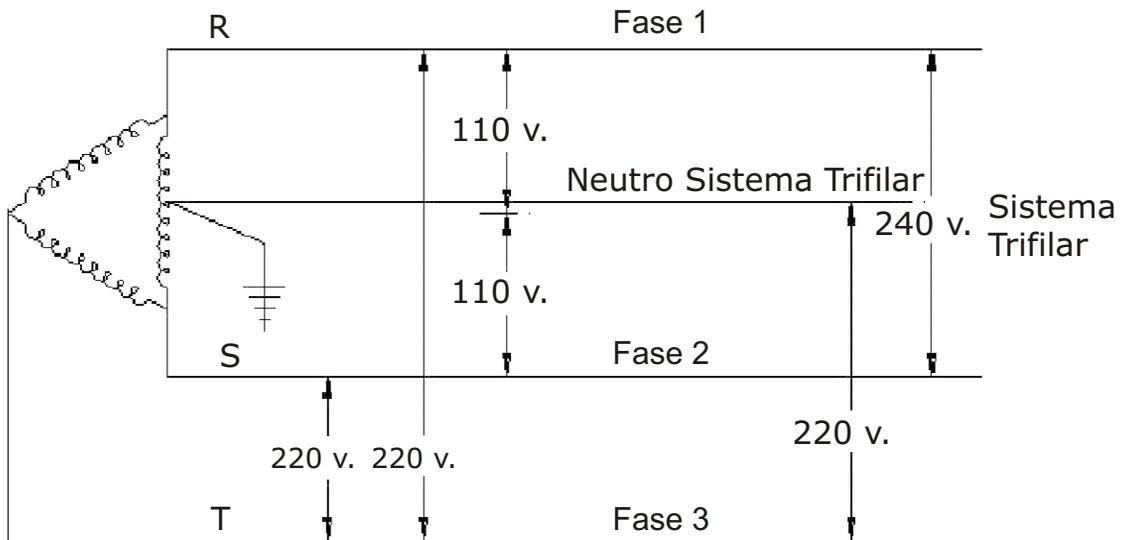


FIGURA 13. SISTEMA CUADRIFILAR TRIFÁSICO

El lector pudo haber encontrado una relación entre los sistemas de distribución descritos y los sistemas trifásicos de conexión de transformadores, motores y generadores.



## 6. Acometidas residenciales

Luego de que la energía es distribuida por diferentes zonas o cerca de los sectores residenciales, se utilizan las ACOMETIDAS, para llevar la energía eléctrica a cada hogar.

### 6.1. DEFINICIÓN

Se denomina acometida a la derivación que va desde la red de distribución o desde la fuente de energía eléctrica, hasta el predio del consumidor y que termina en el contador, siendo este, el punto de entrega de la energía eléctrica al usuario.

### 6.2. PARTES DE UNA ACOMETIDA

### 6.3. ACOMETIDAS SEGÚN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Las acometidas, según el sistema de la red de distribución se pueden clasificar de la siguiente manera:

#### 6.3.1 MONOFÁSICA DE DOS HILOS (bifilar)

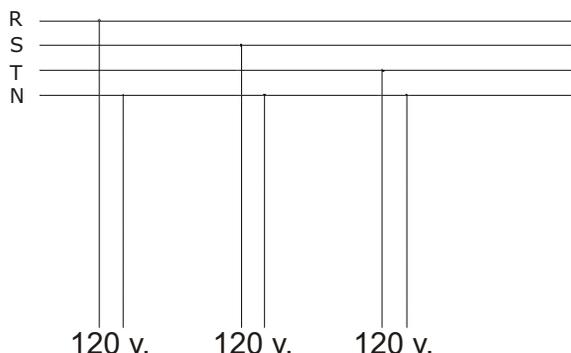
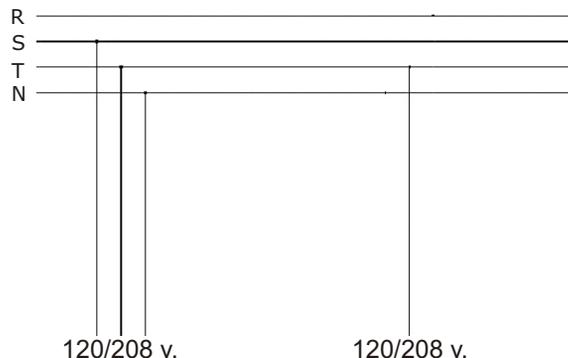


FIGURA 14. MONOFÁSICA DE DOS HILOS

#### 6.3.1 MONOFÁSICA DE TRES HILOS (trifilar)

FIGURA 15. MONOFÁSICA DE TRES HILOS



### 6.3.1 TRIFÁSICA DE CUATRO HILOS (tetrafilar)

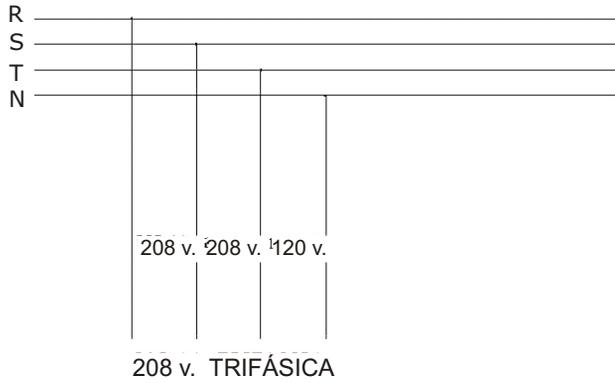


FIGURA 16. TRIFÁSICA DE CUATRO HILOS

### 6.3.1 TRIFÁSICA DE TRES HILOS (trifilar) ACOMETIDA SEGÚN SU UBICACIÓN. ACOMETIDA AÉREA

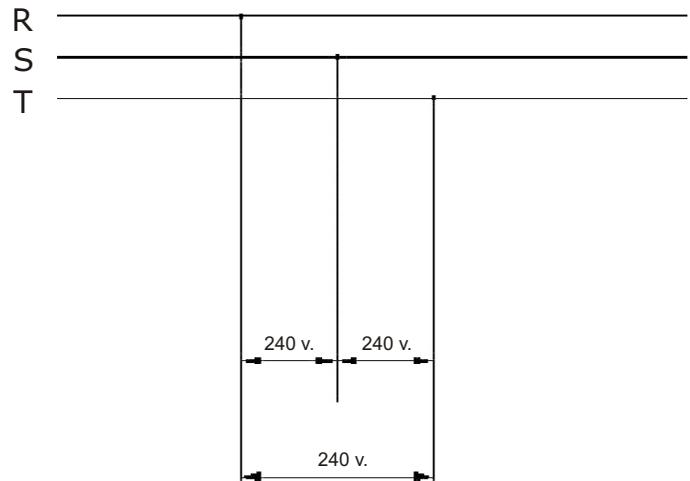


FIGURA 17. TRIFÁSICA DE TRES HILOS

### 6.3 ACOMETIDA SEGÚN SU UBICACIÓN. ACOMETIDA AÉREA

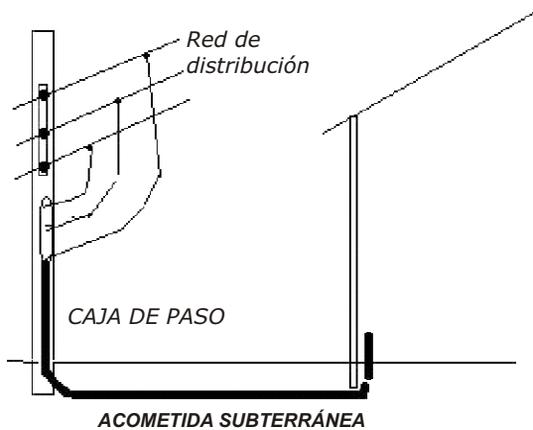


FIGURA 18. ACOMETIDA

FINALMENTE, la energía se distribuye internamente en los hogares y llega a ser utilizada en cada tomacorriente de 110 voltios (valor normalizado para Colombia).

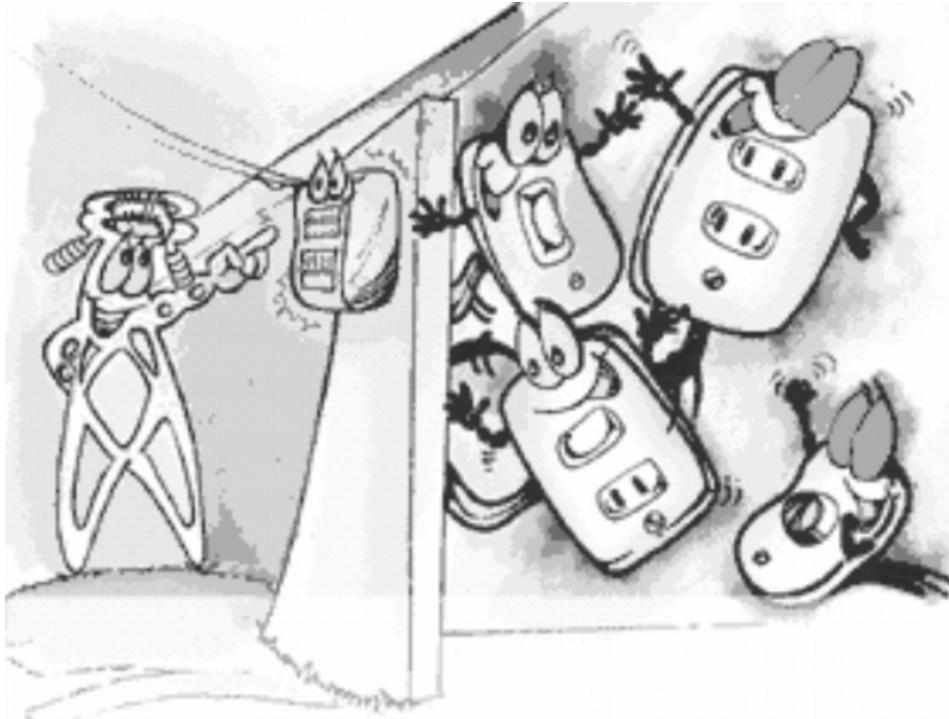


FIGURA 19. TOMACORRIENTE Fuente: isa.com.co

Para complementar este documento se recomienda visitar Internet en:

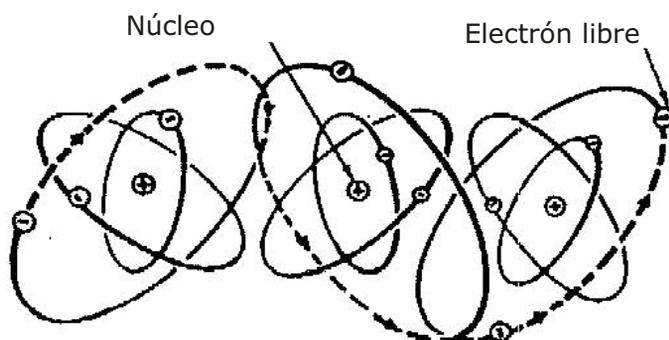
**[Http://www.isa.com.co/Didactico/maginaenergia/index.html](http://www.isa.com.co/Didactico/maginaenergia/index.html)**

Allí se encuentra una presentación virtual de todo el proceso desde la Generación, pasando por la transmisión, y finalmente distribución al usuario final.



## 7. Naturaleza de la corriente eléctrica: la teoría electrónica

Toda la materia está formada por átomos, que desde luego son infinitamente pequeños. El propio átomo está formado por electrones, protones y neutrones. El número y arreglo de estas partículas determina el tipo de átomo: hidrógeno, oxígeno, carbón, hierro, plomo, cobre o cualquier otro elemento.



Corriente: flujo de electrones dentro de un conductor.

FIGURA 20. MOVIMIENTO DE ELECTRONES ENTRE ÁTOMOS. Fuente: RESISTENCIA - SENA FAD.

El peso, color, densidad y demás características de un elemento están determinadas por la estructura del átomo.

Por ejemplo los electrones de un átomo de cobre son iguales a los electrones de cualquier otro elemento.

Cuando se conecta una fuente de energía a un circuito eléctrico, la fuente atrae los electrones del extremo del conductor conectado a la fuente. CUALES? Pues los que pertenecen al material conductor (cobre, plata aluminio, todos están formados por átomos y estos por electrones).

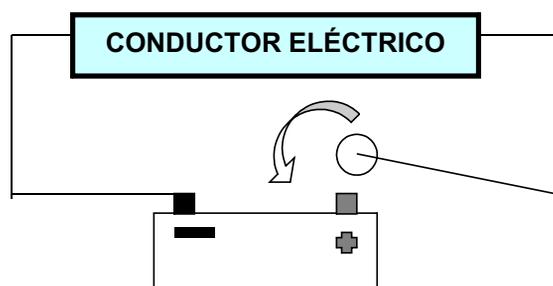


FIGURA 21. CONEXIÓN DE CIRCUITO ELÉCTRICO

Un minuto antes de conectar el conductor y la fuente, se puede afirmar que:

- La fuente tiene su carga almacenada (en reposo)
- El conductor eléctrico (Cu, Ag, Al), está compuesto de átomos y este de electrones (e-, carga eléctrica negativa)
- La figura 18 nos muestra un conductor eléctrico de mayor tamaño que el resto del alambre o cable.

Particularizando en la sección circunscrita y maximizando su tamaño, se puede apreciar algo así:

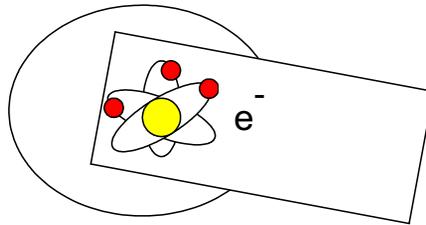


FIGURA 22. ÁTOMO EN PUNTA DE UN CONDUCTOR

- El conductor está compuesto de átomos y éste a su vez de electrones en su última capa (valencia), luego son los más fáciles de remover.

¿QUÉ VA A SUCEDER CUANDO SE UNA ESE ÁTOMO CON UN ELECTRON DE VALENCIA, CON EL TERMINAL POSITIVO DE LA FUENTE?

- El positivo atrae el negativo, la fuente que tiene muchas cargas positivas atrae ese último electrón (de valencia), creando un "HUECO", en ese último átomo.
- El átomo que es eléctricamente neutro debe equilibrarse, y "ROBA", el electrón de valencia de su vecino, (movimiento de electrones), generándole un hueco al vecino. (MOVIMIENTO DE HUECOS).

Ese movimiento de cargas o de huecos es llamado "Corriente eléctrica".

**PREGUNTA:**

**¿ QUÉ RELACIONES SE PUEDEN ESTABLECER ENTRE LA CORRIENTE ELÉCTRICA, EL CALOR Y LA LUZ ?**

## 7.1 UNIDADES DE MEDICIÓN ELÉCTRICA

Hay tres unidades básicas de medición eléctrica:

1. El Flujo de electrones que se mide en amperios.  $i = \frac{dq}{dt}$
2. La Fuerza o presión que provoca el flujo de electrones que se mide en voltios.
3. La Resistencia al flujo de los electrones, medible en ohms.

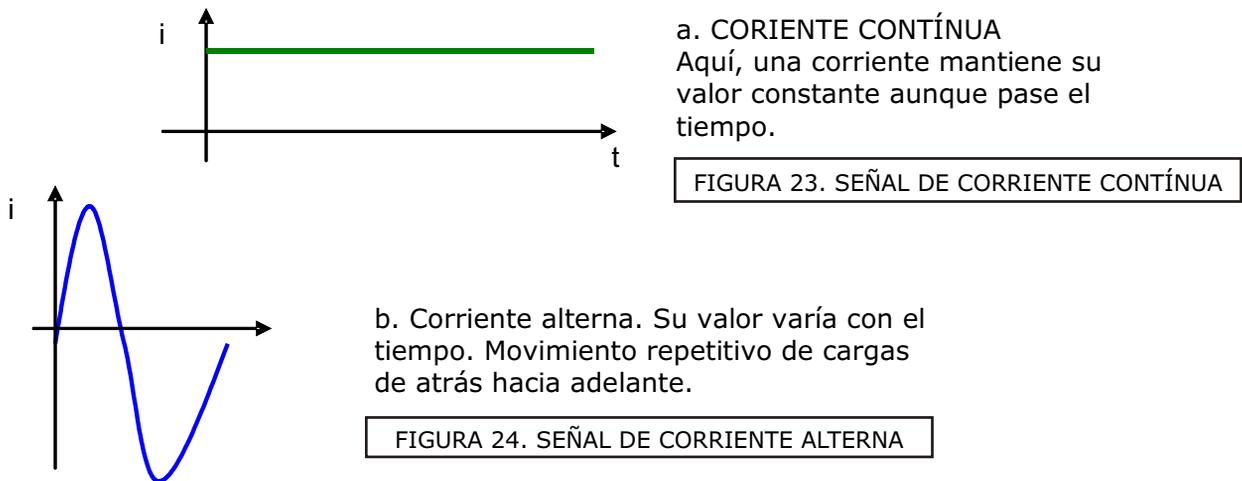
### 7.1.1. CARGA ELÉCTRICA. CORRIENTE ELÉCTRICA

El *amperio* es la unidad de medición de la corriente eléctrica, o sea, el número de electrones que fluyen por un punto en un tiempo dado .

$$1 \text{ coulomb} = 6.24 \cdot 10^8 \text{ electrones.}$$

La unidad como ya se definió antes, es el amperio<sup>2</sup>. Que corresponde a una carga eléctrica que se mueve con una rapidez de un coulomb por segundo. (1 c/s).

A lo largo del estudio de la energía y la electricidad se apreciarán distintos tipos de corriente eléctrica, sus curvas se pueden ver en las siguientes figuras. Allí se analiza en un plano cartesiano la corriente eléctrica en función del tiempo.



Finalmente podemos agregar que para medir la corriente eléctrica en un elemento se utiliza un AMPERÍMETRO y se coloca en serie al elemento.

Finalmente podemos agregar que para medir la corriente eléctrica en un elemento se utiliza un AMPERÍMETRO y se coloca en serie al elemento.

### 7.1.2 VOLTAJE

El *voltio* es la medición de la presión eléctrica o de la diferencia de potencial eléctrico que genera el flujo de electrones dentro de un circuito eléctrico o electrónico. Se puede comparar el voltaje con la presión que impone el agua en un tanque elevado a una tubería colocada a nivel de la calle. A mayor presión del agua, más rápido será el flujo del agua hacia una tubería que esté abajo. En forma análoga, un voltaje mayor tiende a provocar un mayor flujo de electrones. Entonces existe una fuerza que realiza un TRABAJO para mover los electrones.

El trabajo se mide en Joules. El Voltaje en voltios.

---

<sup>2</sup> A. M. AMPERE. Físico francés de principios del siglo XIX. Es recomendable tratar la biografía de éste y los demás científicos en clase.

## 1 Joule por coulomb = 1 Newton\* metro /coulomb

Para análisis de circuitos también se hablará de TENSIÓN o DIFERENCIA DE POTENCIAL. (fem)

EL voltaje se mide en los dos terminales de un elemento con el instrumento llamado VOLTÍMETRO.

El voltaje se especifica con dos signos en los extremos del elemento, uno positivo y el otro negativo, a lo que se denomina POLARIDAD.

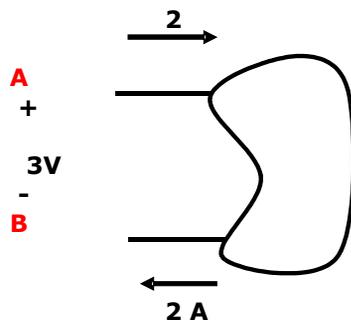


FIGURA 25. MARCAS DE POLARIDAD

### 7.1.2 OHM Y LA RESISTENCIA ELÉCTRICA

El *ohm* es la unidad de resistencia eléctrica. Cada elemento presenta cierta oposición al movimiento de electrones a través de él. Los aislantes como la porcelana, aceites, mica, vidrio y demás presentan mucha resistencia al flujo de los electrones. Por el contrario, los conductores, tales como el cobre, aluminio, plata, etc, presentan muy poca resistencia al flujo de los electrones de ahí su nombre de "conductores". Aunque los conductores permiten rápidamente el flujo de la corriente eléctrica, tienden a poner cierta resistencia. La tubería de agua es un ejemplo: se puede ver esta resistencia como el rozamiento superficial de las paredes del tubo, las costras y la oxidación en el mismo. Una forma de reducir la resistencia es usando, eléctricamente, un alambre de mayor diámetro, o un tubo mayor.

En el siguiente capítulo se estudiará profundamente todo lo relacionado con la resistencia eléctrica.

### 7.1.3 POTENCIA ELÉCTRICA

Podemos definir Potencia entre dos terminales como el producto de voltaje por corriente eléctrica. Su unidad es el vatio (W), cuya expresión matemática es:

$$P = V * I \quad \text{y si se reemplaza la LEY DE OHM entonces la expresión queda}$$
$$P = ( i R ) * I = I^2 R \quad (W)$$

$$P = \frac{\text{Joules}}{\text{Coul}} * \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}} = \frac{\text{joules}}{\text{segundo}}$$

**O si reemplazamos la corriente:  $P = V^2 / R$  (w)**

También la podemos definir como la rapidez de producción o consumo de energía  $P = \frac{dW}{dt}$

#### 7.1.4 ENERGÍA

La energía es la cantidad de potencia en una unidad de tiempo y se expresa como el producto entre estas dos magnitudes. De esta manera

$$\text{ENERGÍA} = P * t \quad (8)$$

La energía se mide en JOULE ,  $J = W / s$

La energía se expresa en vatios hora, y es lo que la empresa de energía eléctrica cobra a los usuarios del servicio a través del CONTADOR DE ENERGÍA, ubicado a la entrada de nuestras casas.

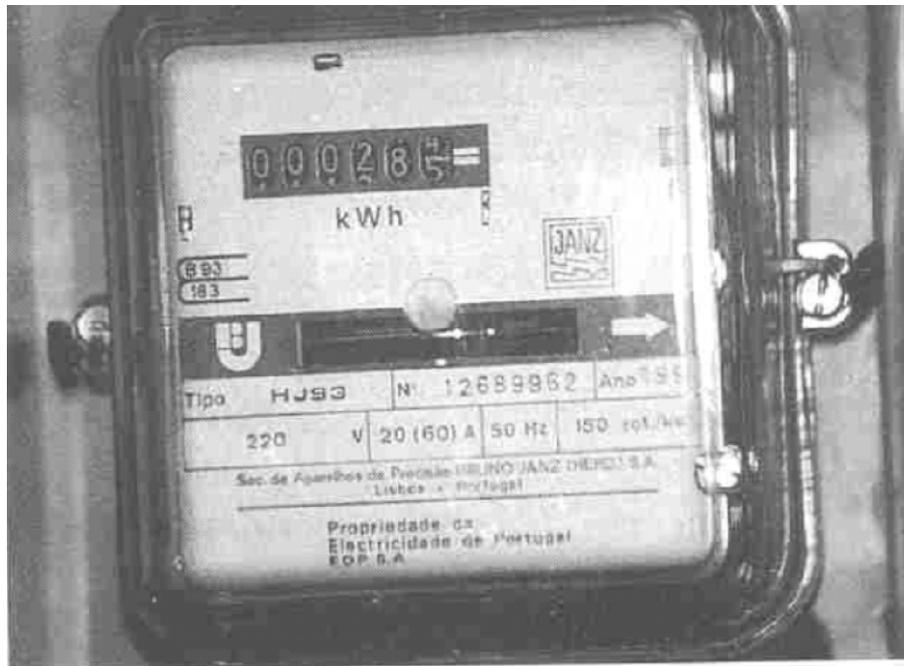


FIGURA 26. CONTADOR DE ENERGÍA



## 8. Medición de voltaje corriente y potencia

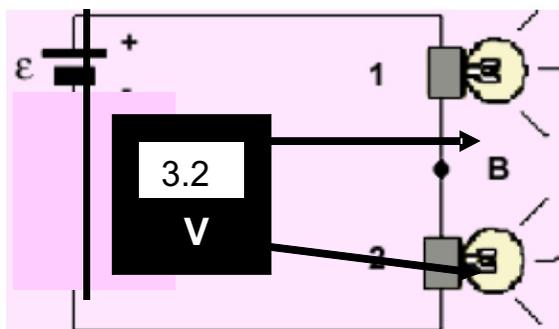
Los principales parámetros medibles en electricidad son la corriente, el voltaje, la resistencia eléctrica y la potencia.

A continuación se observa una relación de dichos parámetros con sus unidades de medida.

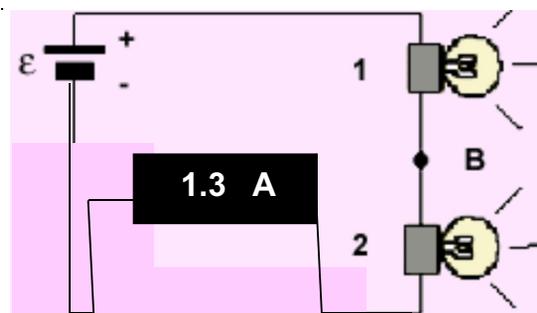
<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Medidor</i>
CORRIENTE ELÉCTRICA	AMPERIOS	AMPERÍMETRO
VOLTAJE	VOLTIOS	VOLTÍMETRO
RESISTENCIA ELECTRICA	OHMIOS	OHMÍMETRO
POTENCIA	VATIOS	VATÍMETRO

### CONEXIÓN DE ELEMENTOS DE MEDICIÓN

Los AMPERÍMETROS se conectan en serie al elemento. Los VOLTÍMETROS, se conectan en paralelo al elemento.



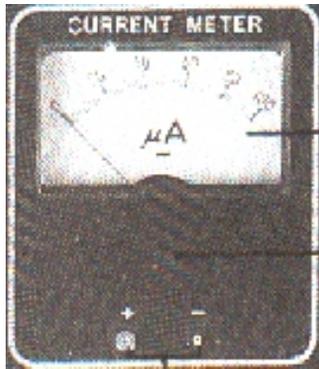
EN ESTE ESQUEMA EL VOLTÍMETRO ESTA INDICANDO EL VOLTAJE EN EL BOMBILLO 2 MARCANDO 3.2 V



LA CONEXIÓN SE REALIZA EN SERIE A LOS ELEMENTOS, DE MANERA QUE EL INSTRUMENTO MIDA LA MISMA CORRIENTE QUE ELLOS.

FIGURA 27. MEDICIÓN DE VOLTAJE Y CORRIENTE

Algunas imágenes de medidores típicos son mostradas a continuación.



Amperímetro análogo



Voltímetro digital



Pinza Voltiamperimétrica



Multímetro de empotrar

FIGURA 28. MEDIDORES DE CORRIENTE Y VOLTAJE. Fuente: Internet

## 9. Resistencia eléctrica

Consideremos un trozo de cualquier material como el cobre, aluminio, etc. éste se ve representado en la siguiente figura. Al interior de él existen sus partículas moleculares y atómicas. Éstas ofrecen una pequeña oposición al paso de otros nuevos electrones por el trozo del material, ofreciendo un valor de resistencia ( $R$ ).

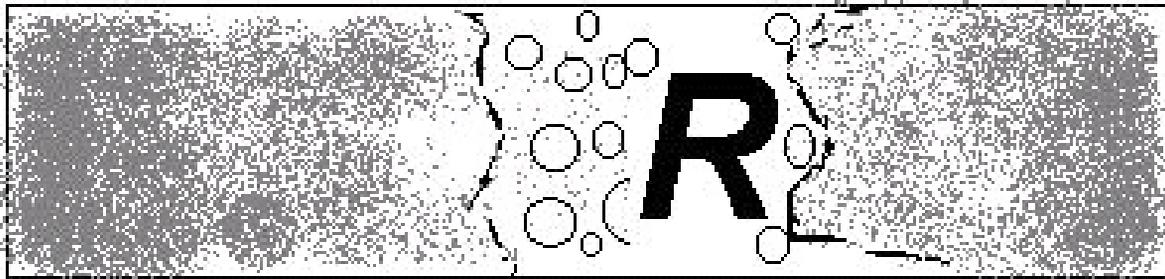


FIGURA 29. ÁTOMOS CRUZANDO ELEMENTO

La resistencia de un elemento mide la forma como dicho elemento se opone al paso de los electrones. La resistencia es entonces, la propiedad de un elemento para oponerse al paso de la Corriente eléctrica.

Ese paso de electrones produce incontables choques entre los electrones de las corrientes y los átomos que componen el conductor. Estos choques se traducen en resistencia y hacen que se caliente el conductor.

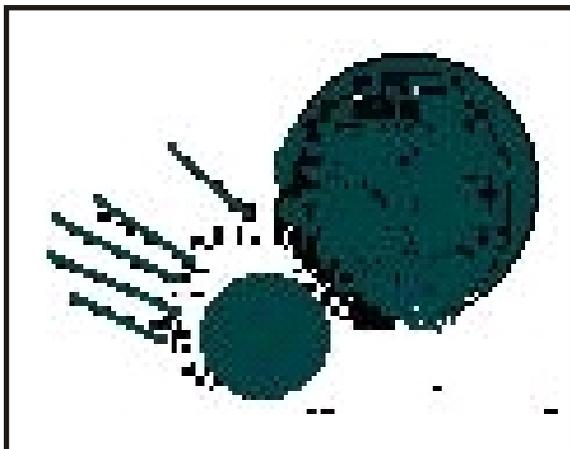


FIGURA 30.  
CHOQUE DE ELECTRÓN CON  
ÁTOMOS DEL MATERIAL  
CONDUCTOR

### 9.1 DIFERENCIA ENTRE RESISTOR Y RESISTENCIA

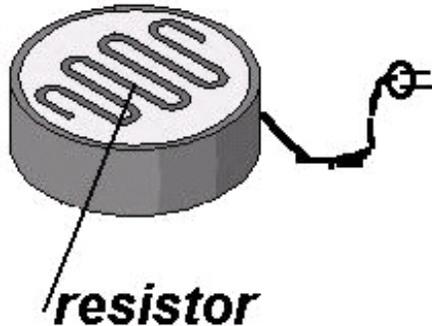
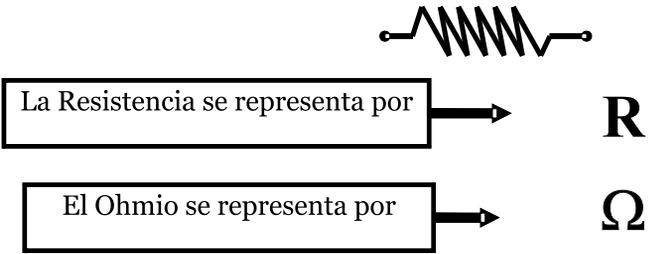


FIGURA 31. RESISTOR PARA HORNO

Ese elemento que utilizamos a diario para el calentamiento de nuestros alimentos, no es una resistencia común, ésta es llamada RESISTOR.

### 9.2 REPRESENTACIÓN DE UNA RESISTENCIA



### 9.3 MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DEL OHMIO

Para la conversión de unidades de resistencia, bájese en las siguientes tablas:

	UNIDADES	SÍMBOLO	EQUIVALENCIA
<b>MÚLTIPLOS</b>	Megohmio	MΩ	1.000.000 Ω
	Kilohmio	KΩ	1.000 Ω
	Ohmio	Ω	1

<b>SUBMÚLTIPLOS</b>	Mili- ohmio	mΩ	0,001 Ω
	Micro- ohmio	uΩ	0,000001 Ω

**TABLA 4. RESISTIVIDADES**

<b>RESISTIVIDADES DE ALGUNOS MATERIALES A 20° C (EN <math>\frac{\Omega mm^2}{m}</math>)</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>RESISTIVIDAD</b>
PLATA	0.016
COBRE	0.017
ORO	0.023
ALUMINIO	0.028
TUNGSTENO	0.050
ZINC	0.058
LATON	0.06 A 0.08
NIQUEL	0.075
PLATINO	0.096
HIERRO	0.10 A 0.15
ESTAÑO	0.13
PLOMO	0.21
MANGANINA	0.42
MERCURIO	0.92
CROMO-NÍQUEL	1.06

**Fuente: Resistencia Eléctrica. SENA FAD VALLE. Educación abierta y a distancia.1993**

Según la tabla 6, se define que el mejor conductor a 20° C es la plata ya que su resistividad tiene el menor número. En la siguiente fórmula se define la resistencia como la relación entre resistividad específica, longitud del conductor y la sección (área) del mismo.

La resistividad específica se determina por la letra griega "RO" que se representa por la letra:  $\rho$

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

L se expresa en metros

S: la sección o área en milímetros cuadrados  $mm^2$

#### **9.4 VALOR DE UNA RESISTENCIA**

Físicamente las resistencias usadas en los equipos eléctricos y electrónicos, se identifican de acuerdo a los colores de su parte externa. APRA ello se utiliza el código internacional de colores.

**TABLA 5. CODIGO INTERNACIONAL DE COLORES  
(resistencias y condensadores)**

COLOR	CIFRA SIGNIFICATIVA	FACTOR	TOLERANCIA	EJEMPLOS
Sin color	-	-	± 20%	
Plata	-	$10^{-2}$	± 10 %	<p>1ª cifra 2ª cifra Factor</p>
Oro	-	$10^{-1}$	± 5 %	
Negro	0	$10^0$	-	<p>Tolera nc</p>
Marrón	1	$10^1$	± 1%	
Rojo	2	$10^2$	± 2%	<p>1ª cifra 2ª cifra 3ª cifra Factor Tolera n</p>
Naranja	3	$10^3$	-	
Amarillo	4	$10^4$	-	
Verde	5	$10^5$	= 5%	
Azul	6	$10^6$	-	
Violeta	7	$10^7$	-	
Gris	8	$10^8$	-	
Blanco	9	$10^9$	-	

## 9.5 CONEXIÓN DE RESISTENCIAS EN SERIE, PARALELO Y MIXTO

En un circuito eléctrico, las resistencias se pueden conectar en serie, en paralelo o en un circuito mixto.

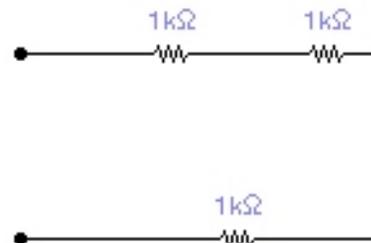
En una agrupación de resistencias, es de gran ayuda para la solución del circuito, encontrar la resistencia equivalente  $R_{Eq}$ . Más adelante se hallará la resistencia equivalente para cada una de las conexiones de circuitos aquí descritas.

### 9.5.1 CIRCUITO SERIE O RESISTENCIAS EN SERIE

Las resistencias están en serie cuando:

- Están conectadas una después de la otra.
- Según ésta conexión, la corriente eléctrica tiene un solo camino, por eso la corriente es la misma en todo el circuito.

FIGURA 32. Resistencias en serie



En un circuito serie, la resistencia equivalente se halla como la suma de todas las resistencias.

$$R_{eq} = R1 + R2 + R3 \dots + Rn = \Sigma R$$

### 9.5.2 CIRCUITO PARALELO O RESISTENCIAS EN PARALELO

Las resistencias están en paralelo cuando:

- Están conectadas una enfrente de la otra.
- Esta conectadas a los dos mismos puntos, por eso el voltaje en todos los elementos es el mismo.

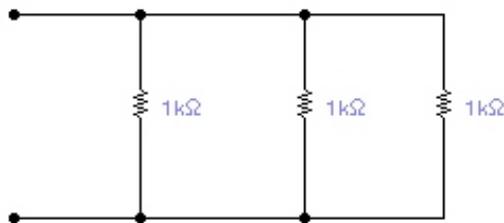


FIGURA 33. RESISTENCIAS EN PARALELO

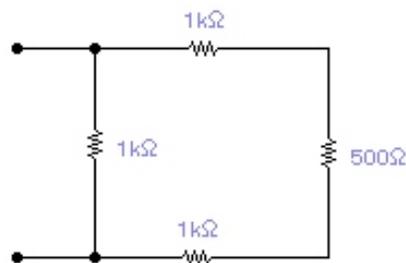
En un circuito paralelo, la resistencia equivalente se halla como la suma de todos los inversos de las resistencias, así:

$$\frac{1}{Rt} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \dots + \frac{1}{Rn} \quad (15)$$

### 9.5.3 CIRCUITO MIXTO

Los elementos conectados en circuito mixto, están en serie y en paralelo, TODO EN UN SÓLO CIRCUITO. Ver figura.

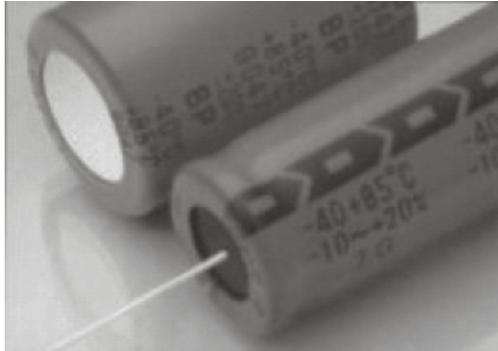
FIGURA 34. CIRCUITO MIXTO



Para hallar la resistencia equivalente de un circuito mixto se recomienda, resolver el circuito de izquierda a derecha del lector, de ésta manera empezariamos a resolver el ejemplo de la figura 27, sumando en serie  $1K \Omega + 500 \Omega + 1K \Omega$ . Luego se procede a dibujar el circuito resultante y sumar la resistencia equivalente en paralelo con  $1K \Omega$ .

## 10. Capacitancia

EL CONDENSADOR, es un elemento almacenador de energía, de gran aplicación en electrónica. Almacena energía entre el campo eléctrico generado entre sus placas. La propiedad de almacenar energía de un elemento se conoce como Capacitancia.



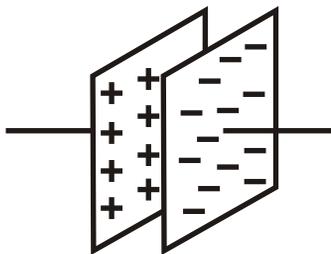
Condensador cerámico



Condensador tantalio

FIGURA 35. ALGUNOS TIPOS DE CONDENSADORES

Se compone de dos placas paralelas metálicas separadas por un aislante llamado DIELECTRICO, que conservan energía entre su campo eléctrico. De acuerdo al dieléctrico usado, así mismo recibirá el nombre del condensador, siendo los más comunes los de mica, porcelana y tantalio.



### CAPACITANCIA

Propiedad que tienen de almacenar energía

Unidad: Faradios. F

El Submúltiplo más utilizado es el Microfaradio, símbolo uF

FIGURA 36. COMPOSICIÓN DE UN CONDENSADOR

En este capítulo se identificarán los diferentes tipos de bobinas y condensadores. También se definirá su principio de funcionamiento así como las aplicaciones básicas de éstos dos elementos.

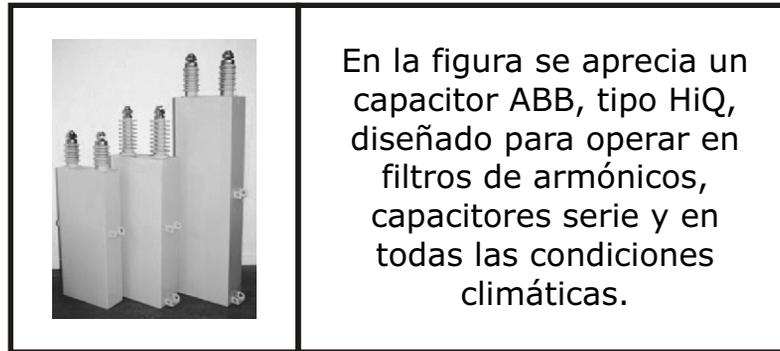


FIGURA 37. CONDENSADORES PARA SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN. Fuente: [www.abb.com](http://www.abb.com)

La relación entre carga eléctrica en un condensador, el voltaje de alimentación y la capacitancia es:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{Q_d}{\epsilon_o A}} = \frac{\epsilon_o A}{d}$$

Donde Q es la carga eléctrica del condensador  
 $\epsilon_o$  : es la constante del dieléctrico  
 A : área de la superficie de la placa del condensador

Gráficamente el proceso de carga y descarga del condensador se puede apreciar en la siguiente figura. El tiempo se identifica con la variable  $\tau$  (se lee TAO). Idealmente éste tiempo es el mismo para la carga y descarga del condensador.

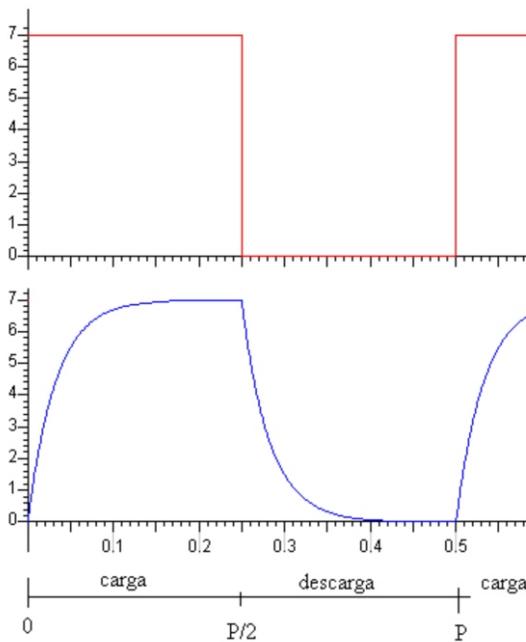


FIGURA 38. CARGA Y DESCARGA DE UN CONDENSADOR

Puedes ver mas información sobre el condensador en una presentación de PowerPoint en:

<http://tesla.cuao.edu.co/analogia/yulianov>

en el enlace Material de Clase.

## 10.1 ASOCIACIÓN DE CONDENSADORES

- **CONDENSADORES EN SERIE.** Para encontrar la capacitancia equivalente de un grupo de condensadores en serie, se aplica la siguiente expresión:

$$C_t = \frac{1}{1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3}$$

- **CONDENSADORES EN PARALELO.** Para encontrar la capacitancia equivalente de un grupo de condensadores en paralelo, se aplica:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

## 11. Bobina )

Es un elemento que al igual del condensador, almacena energía por un tiempo determinado, pero en este caso lo hace en su campo magnético.



FIGURA 39.  
TIPOS DE BOBINAS MÁS COMERCIALES

Si un conductor eléctrico lo enrollamos y obtenemos varias espiras, esto forma la BOBINA.

FIGURA 40.  
FOTO TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN  
(bobinado trifásico).

Foto Ingeniero Henry Maya.



## 11.1 INDUCTANCIA

Es una propiedad intrínseca de la bobina. Es la oposición al cambio brusco de corriente en una bobina, y su valor se expresa en HENRIOS (H).

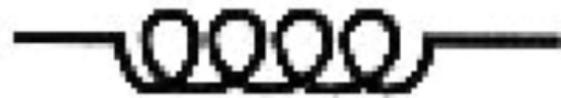
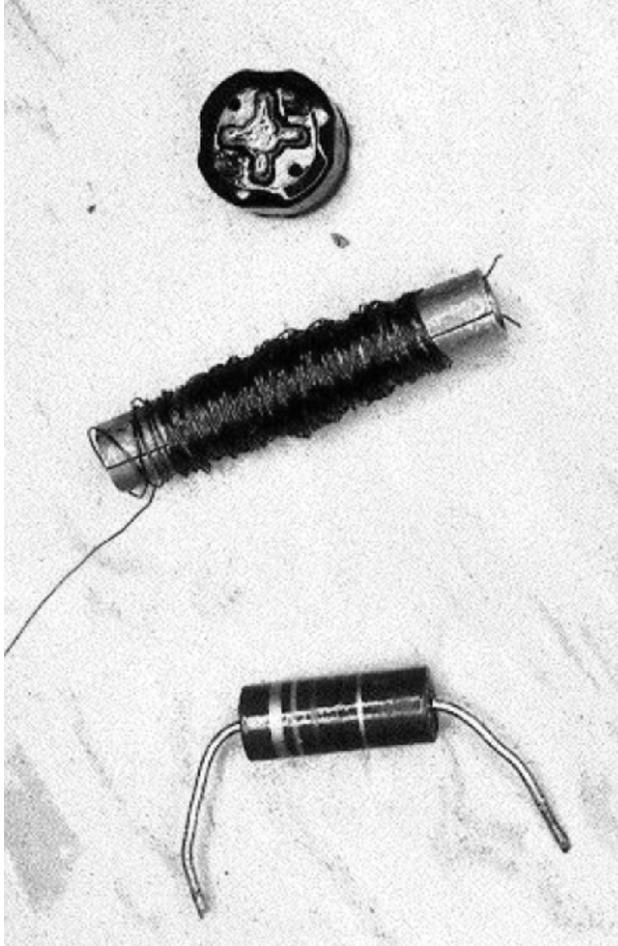


FIGURA 41.  
ARROLLAMIENTO O BOBINA Y SU  
REPRESENTACIÓN CIRCUITAL

## 11.2 INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

- La bobina se opone a la variación de la intensidad, Según la **LEY DE LENZ**.
- **Michael Faraday**, afirmó que por todo conductor eléctrico que circula corriente, se produce un campo magnético a su alrededor.
- Si cerca de ese campo producido hay otro elemento conductor, éste se inducirá.
- $L = n \phi / i$

# INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

- La bobina se opone a la variación de la intensidad, Según la **LEY DE LENZ**.
- **Michael Faraday**, afirmó que por todo conductor eléctrico que circula corriente, se produce un campo magnético a su alrededor.
- Si cerca de ese campo producido hay otro elemento conductor, éste se inducirá.
- $L = n \phi / i$

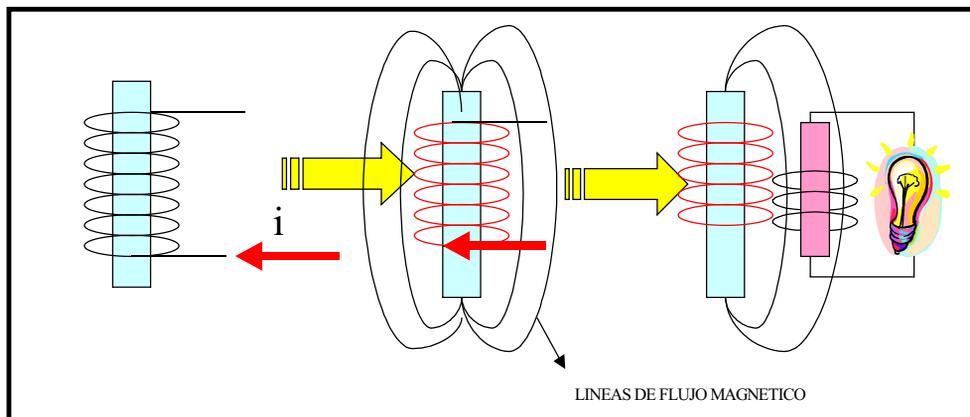


FIGURA 42. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Fuente: material de clase. YURI U. LOPEZ C. Corporación Universitaria AUTONOMA de Occidente. Cali. Colombia. 2002

## 12. Ley de OHM )

George Simon Ohm, encontró después de sus estudios y experiencias en Electricidad, que la corriente y el voltaje se relacionaban directamente, y su descubrimiento lo transformo en ecuación matemática diciendo:

$$v \propto i$$

El voltaje es  
proporcional a la  
corriente

Esa proporcionalidad fue después denominada resistencia eléctrica y la simbolizó por la letra R, dando como resultado la expresión:

$$V = R * i$$

V: es el voltaje en los extremos de la resistencia

i : la corriente que atraviesa el resistor

R: el valor en ohmios de la resistencia Eléctrica

De esa ecuación podemos decir:

$$i = \frac{v}{R}, \quad R = \frac{v}{i}$$

En estas expresiones, La corriente se expresa en Amperios, el voltaje en voltios y la resistencia eléctrica en ohmios.

Ejemplo: Si el voltaje de una batería de teléfono celular es 6 voltios, y la resistencia total del circuito interno del teléfono es 10 Kohm. ¿Cual es la corriente total en el teléfono?

$$i = \frac{v}{R}, \quad \text{así que} \quad \frac{6}{10000} = 0.6 \text{ Amp}$$

Es decir, si se conoce la resistencia y la corriente se puede hallar voltaje. Si se conoce el Voltaje y la corriente, se halla la resistencia de un elemento, etc.

Los amperios, voltios y ohms tienen un papel específico en todo ejemplo de electricidad que fluye por un circuito eléctrico: están relacionados entre sí. Esta relación se expresa en la ley de Ohm, la cual es la LEY BÁSICA DE LA ELECTRICIDAD.

$$\text{Amperios (razón)} = \frac{\text{Voltios (potencial)}}{\text{Ohms (resistencia)}}$$



## 13. Leyes de KIRCHHOFF

Un circuito eléctrico se describe con base en dos características específicas:

- a) Los elementos que contiene
- b) Como están conectados

Se consideran dos (2) leyes básicas, que determinó en 1847 el físico alemán GUSTAV KIRCHHOFF (1824 - 1887)

Estas leyes son validas para circuitos que contienen elementos de todo tipo: resistencias, inductores, condensadores, fuentes y otros.

Ahora se define lo que es un nodo y una rama:

**Nodo:** Se le llama nodo, al punto en el cual dos ramas o más elementos tienen una conexión en común. FIGURA 28.

**Rama:** Trayectoria que une 2 nodos a través de un elemento simple de un circuito. En un circuito existen muchas ramas.

Ahora definamos las leyes de Kirchhoff:

### 13.1 LEY DE CORRIENTE DE KIRCHHOFF (LCK)

Corrientes que salen del nodo es igual a las corrientes que entren al nodo.

Nodo Punto donde llegan dos o más elementos.

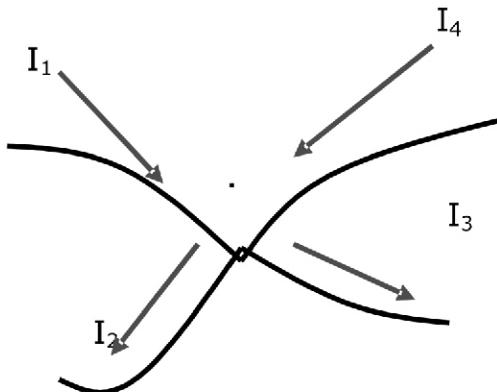


FIGURA 43. CORRIENTES EN NODO

La suma de las corrientes que entran al nodo es igual a 0, la suma algebraica de las corrientes que salen del nodo es igual a 0.

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

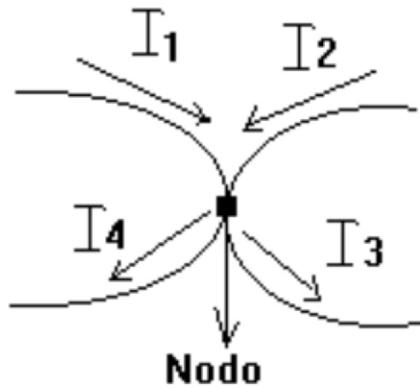


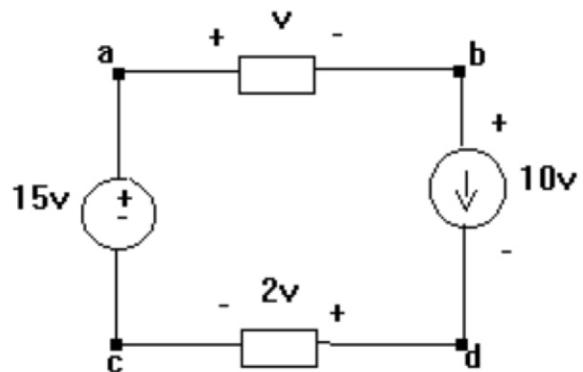
FIGURA 44. SUMATORIA DE CORRIENTES

### 13.2. LEY DE VOLTAJES DE KIRCHHOFF (LVK)

Establece que "La suma algebraica de los voltajes en un lazo cerrado es igual a Cero"

**Ejemplo:**

FIGURA 45.  
LEYES DE KIRCHHOFF EN CIRCUITO SERIE



En éste ejemplo aplicamos LVK para encontrar a (V) en el circuito.

Empezando el recorrido de la malla en sentido de las manecillas del reloj, sentido CDBA empezando por la fuente de 15 V así:

$$-15 + V + 10 + 2 = 0$$

ahora es sólo despejar a (V) y queda:

$$V = 15 - 10 - 2$$

$$V = 3 \text{ V}$$

## GENERALIZACIÓN

Para la comprensión y el análisis de circuitos eléctricos se hace necesario generalizar dos cosas:

1. En una fuente de voltaje de corriente continua, generalizamos que la corriente sale por el terminal positivo de la fuente, hacia el circuito.

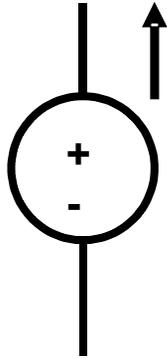


FIGURA 46. CORRIENTE ELECTRICA SALIENDO DE LA FUENTE

2. Por el terminal por donde entre la corriente eléctrica en una resistencia, por ahí polarizamos POSITIVO.

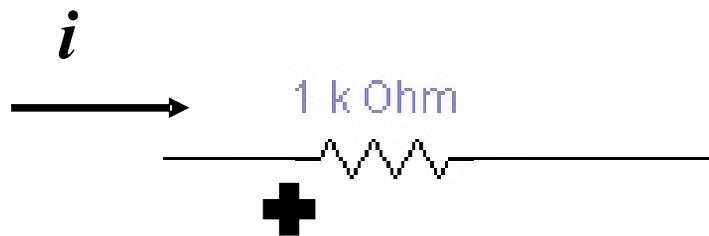


FIGURA 47. CORRIENTE ENTRANDO A UNA RESISTENCIA - POLARIZACIÓN

La polaridad define los dos signos como el voltaje se distribuye en un elemento. En nuestro caso si ya se definió el positivo, entonces el otro extremo es negativo.

Lo anterior genera un punto de partida propio para el análisis de los circuitos usando cualquier método ó teorema.

## 14. Corriente continua

En este capítulo se identifica la energía cuya fuente se obtiene de PILAS o fuentes de CORRENTE CONTINUA, donde su valor es constante a medida que pasa el tiempo. Las baterías son los ejemplos más útiles de fuentes C.C. entre ellos están las pilas de teléfonos celulares, pilas para linternas, las baterías para vehículo, etc.

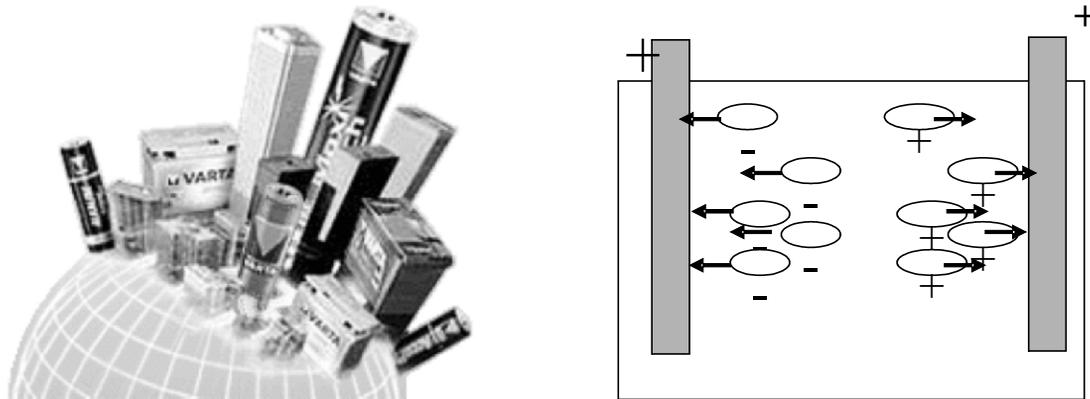


FIGURA 48. TIPOS DE FUENTES DE CORRIENTE CONTINUA (fuente: [www.varta.com](http://www.varta.com))

### 14.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Recomendaciones básicas para el mejor uso de sus baterías:

- No use pilas en aparatos defectuosos o colocadas incorrectamente.
- Evite el contacto de los terminales con objetos metálicos.
- No cambie parcialmente un tendido de pilas.
- No deje pilas dentro del aparato sin mucho tiempo de uso.
- Procurar no manipularlas con imanes.
- Las pilas no se recargan en la nevera o al sol.
- En el cambio de pilas para calculadora y agendas se debe tener en cuenta la referencia y cambiarlas una a una, siempre con el equipo apagado para evitar la pérdida de los datos almacenados en la memoria.

## 14.2 APLICACIONES - CLASE DE CIRCUITOS: EN SERIE

Decimos que dos o más pilas se encuentran en serie cuando el polo positivo de una primera se une por medio de un conductor con el polo negativo de la segunda, incrementando el voltaje y conservando el amperaje; su objetivo es lograr un valor de voltaje deseado. En este caso la corriente que pasa por una sola pila es la misma que pasa por todo el sistema.



FIGURA 49. BATERIAS EN SERIE

## EN PARALELO

Decimos que dos o más pilas se encuentran conectadas en paralelo cuando se unen todos los polos positivos entre si y todos los polos negativos entre si, conservando el voltaje e incrementando el amperaje. En este caso se multiplica la capacidad o duración por el número de pilas en paralelo. En el ejemplo tenemos tres veces la capacidad de una pila.

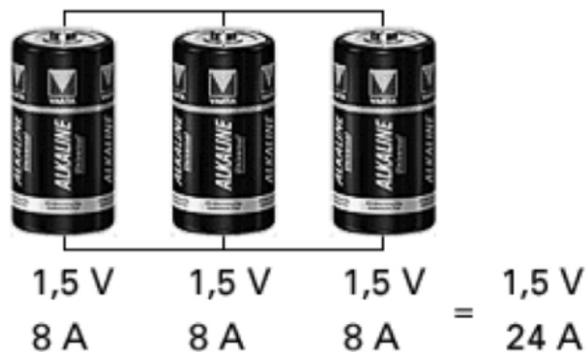


FIGURA 50. \_Baterías en paralelo.\_ Fuente: <http://co.portable.varta.com/>

### 14.3 REPRESENTACIÓN

Las fuentes de voltaje y corriente de CORRIENTE CONTINUA se representan en los circuitos o planos eléctricos así:

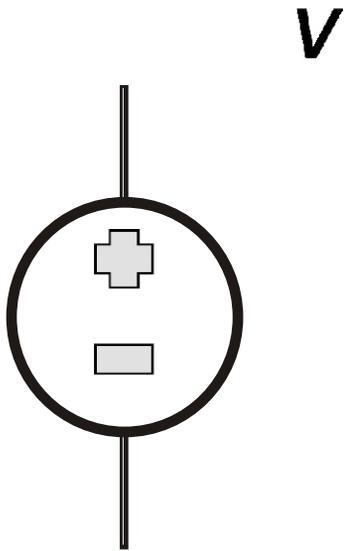


FIGURA 51.  
FUENTE INDEPENDIENTE DE VOLTAJE

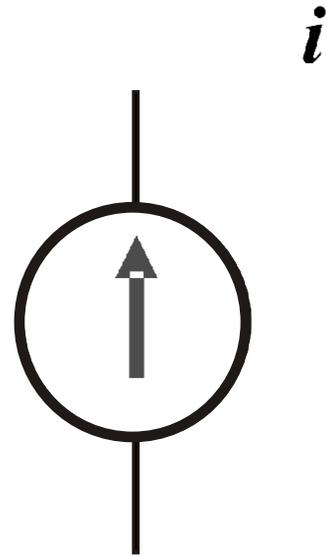


FIGURA 52.  
FUENTE INDEPENDIENTE DE CORRIENTE

## 15. Corriente alterna

La mayoría de los elementos en los sistemas eléctricos no son puramente resistivos. En corriente alterna A.C. se presentan elementos inductivos (inductor o bobina), y capacitivos (condensador).

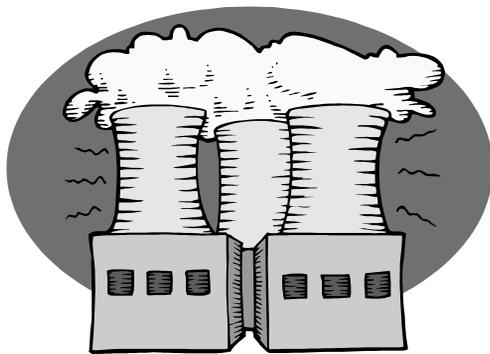


FIGURA 53. INDUSTRIA

- ✍ LA CORRIENTE ALTERNA ES EL TIPO DE ENERGÍA MÁS USADO A NIVEL MUNDIAL.
- ✍ ES USADA PARA LA INDUSTRIA, A NIVEL RESIDENCIAL, COMERCIAL Y OTROS.
- ✍ EL PERMANENTE Y CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LA CORRIENTE ALTERNA, PERMITE AL MUNDO CONTINUAR SU DESARROLLO

Observe el circuito de la figura 36, está compuesto de una resistencia, una bobina y un condensador que son alimentados por una fuente de 120 voltios, a una frecuencia de 60 Hz y un ángulo de fase de 0 grados.

FIGURA 54. CIRCUITO ELÉCTRICO DE AC

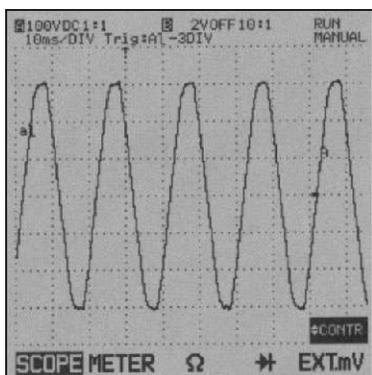
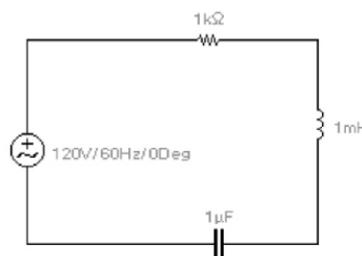


FIGURA 55. SEÑAL DE A.C

### ¿ POR QUÉ ALTERNA?

La señal que llega al usuario final es una señal de A.C., que como todas las ondas tiene un período, una frecuencia y entre las distintas ondas existen desfases angulares.

Aquí es necesario definir el Valor rms y el Valor eficaz de una señal.

$$V_{rms} = V_{pico} / \sqrt{2}$$

## 15.1 DISTRIBUCIÓN DE ENERGIA ALTERNA



- Postes: (8 Y 11 METROS).
- Retenidas: (pie de amigo, guitarra, etc)
- Conjuntos: (elementos en la parte superior del poste)
- Cruceta : (centro, bandera), cemento, madera
- Aisladores: cerámica, porcelana, vidrio
- Ángulos

## 15.2 DESFASE ENTRE CORRIENTE Y VOLTAJE

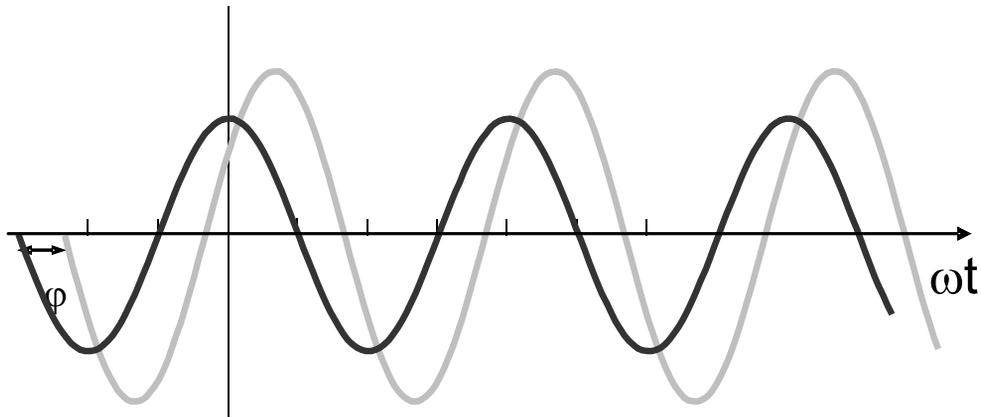


FIGURA 56. SEÑALES DESFASADAS UN ÁNGULO

**Ejemplo:** La alimentación de un circuito eléctrico es:

$$v(t) = 14.1 \cos(377t) \text{ voltios}$$

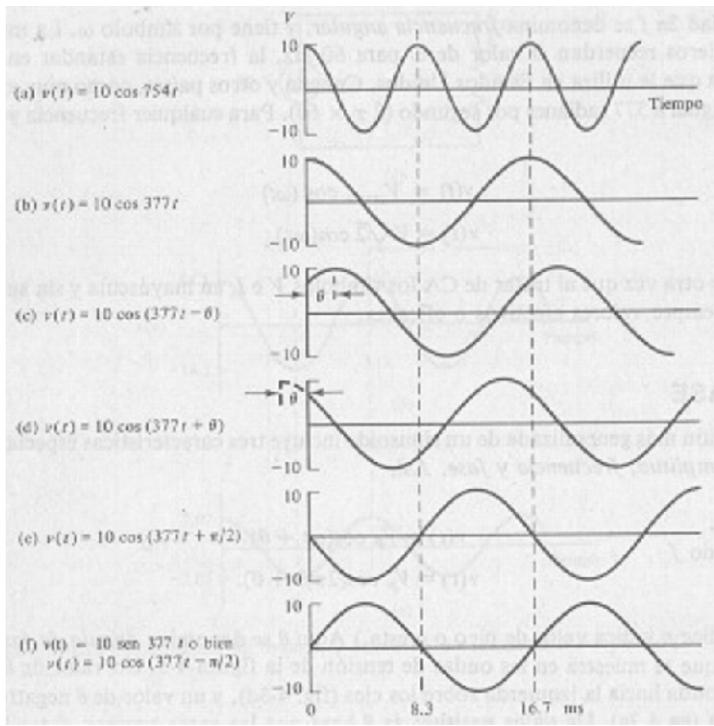
Entonces debemos entender que es una función, de la forma del  $\sin(x)$  o  $\cos(x)$ . Así la definiremos como una SEÑAL de A.C.

En toda señal de AC, se debe saber que toda onda tiene tres características:

### 15.3 ONDAS EN FASE - DESFASADAS

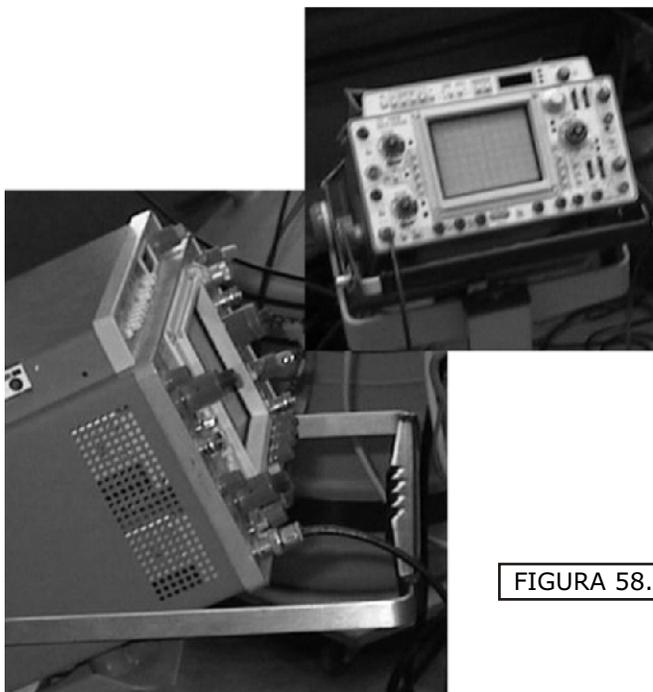
Debido a la cantidad de elementos inductivos y capacitivos en los sistemas eléctricos industriales, la corriente eléctrica presenta un corrimiento respecto a la señal de voltaje de las bobinas y los condensadores. Ese desfase en la señal puede ser observado en el osciloscopio. Una muestra de algunas señales desfasadas puede verse en la siguiente figura.

FIGURA 57.  
 DESFASE EN SEÑALES DE CORRIENTE ALTERNA  
 FUENTE:  
 INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA ELÉCTRICA.  
 Willian H. Roasdrum & Dan H. Wolaver.  
 HARLA. 1989.



Las señales en la figura 36, están organizadas así:

- a.  $V(t) = 10 \cos 754 t \quad V$
- b.  $v(t) = 10 \cos 377 t$
- c.  $v(t) = 10 \cos 377 t - \theta$
- d.  $v(t) = 10 \cos 377 t + \theta$
- e.  $v(t) = 10 \cos 377 t + \pi/2$
- f.  $v(t) = 10 \cos 377 t - \pi/2 = 10 \sin 377 t$



Para visualizar las ondas o señales de VOLTAJE de corriente alterna, se utiliza un aparato denominado OSCILOSCOPIO. Ver figura 38.

FIGURA 58. OSCILOSCOPIO

Estas señales se ven claramente en un OSCILOSCOPIO. Aquí muestro una simulación realizada en el software WORKBENCH, donde se observa el equipo midiendo en un circuito.

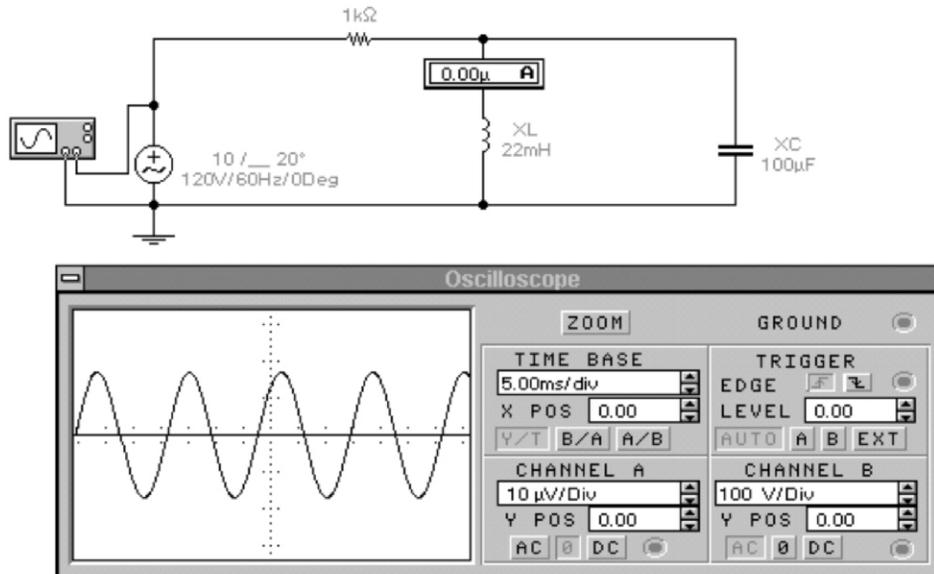


FIGURA 59. SIMULACIÓN CON UN OSCILOSCOPIO

SI POR EJEMPLO, una señal de voltaje es expresada en forma matemática, así:

$$v(t) = 14.1 \cos (\omega t)$$

$\omega = 2 \pi f$  radianes por segundo (RAD/SG), se conoce como frecuencia angular.

El valor de corriente del circuito se obtiene fácilmente utilizando la ley de ohm.

$$V = I R$$

El periodo de una onda  $T$  es el tiempo de un ciclo.  $T = 1 / f$

Frecuencia: El ritmo al que la onda crece y decrece, en ciclos por segundo. (Hz). Un Hz es la variación de un ciclo completo por segundo (por ejemplo una onda de 60 Hz pasa por un ciclo completo en un periodo de 16.7 ms es decir un sesentavo de segundo)

Entonces:

$$v(t) = V_{\text{cresta}} \cos (\omega t + \theta)$$

$$v(t) = V \sqrt{2} \cos (2 \pi f t)$$

### 15.2.2. FASE

El ángulo incluido en la frecuencia angular es el ángulo de fase y tiene el efecto de adelantar o atrasar la onda como en la figura 3.

El coseno podría expresarse en seno si así se desea en grados.

NOTA: Un radian  $\approx 57.3^\circ$ , un ciclo tiene 2 radianes o  $360^\circ$

Pueden convertirse las funciones seno a coseno a través de la expresión:

$$\text{sen } (\alpha) = \text{cos } (\alpha - \pi/2)$$

Puede observarse que en la figura c y d el ángulo usado fue de 45 grados. La figura a es usando una onda de 120 Hz. Las demás son de 60 Hz.

### 15.2.3. FASORES

Son las representaciones de ondas de tensión o corriente alterna a través de flechas. La flecha (fasor), tiene los tres elementos de la onda.

Magnitud

Frecuencia

Ángulo de fase

Entonces, si una onda tenemos una onda de voltaje o corriente, que podrá representarse en el plano complejo mediante una flecha como en la figura.

$$v(t) = 10 \text{ Cos } 754 t + \theta$$

10 es el voltaje pico  $V_p$   
754 es la frecuencia angular  $w$   
 $\theta$  es el ángulo de fase que bien podría ser 0

Para representarlo en fasores se toma el voltaje eficaz ( $V_p / \sqrt{2}$ ) y el ángulo de fase se colocará así:

$$v = \frac{10}{\sqrt{2}} \angle \theta^\circ$$

Voltios y se representaría en un plano complejo donde la componente

imaginaria esta sobre el eje vertical (Y) y los reales sobre el eje horizontal (X). VER FIGURA SIGUIENTE.

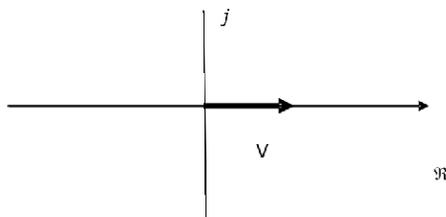


FIGURA 60. REPRESENTACIÓN GRAFICA DE UN FASOR

**REACTANCIA CAPACITIVA.** Es la oposición que presenta el condensador cuando por el pasa la corriente alterna. Se identifica la reactancia como  $X_c$ .

$$X_c = 1 / \omega C \text{ OHMIOS}$$

Donde  
 $\omega = 2 \pi f \text{ rad/seg}$   
 velocidad angular de la corriente  
 $C$  : capacidad en Faradios

### 15.4 IMPEDANCIA

El análisis de los circuitos se realiza igual que como se hizo en D.C.

Aquí se introducirá un nuevo elemento que recibe el nombre de impedancia ( $Z$ ); su comportamiento es igual que el de una resistencia en D.C. ES UNA FORMA MAS GENERAL DE RESISTENCIA.

Su valor se compone de la suma de los nuevos elementos de A.C. como son el Condensador y la Inductancia, que son elementos pasivos de dos terminales.

Dado que la alimentación del circuito es en corriente alterna A.C., ahora debemos hacer un ligero cambio en la forma de expresar los elementos ya que no es lo mismo que los atraviese una corriente alterna a que lo haga una corriente continua. Entonces usaremos los números complejos para representar los elementos en A.C.

Introduciremos el operador  $j$  que diferenciará las resistencias de los condensadores e inductores. Será necesario recordar el álgebra de complejos en sus mas simples operaciones para analizar los circuitos ; y con ellos el cambio de coordenadas polares a rectangulares y viceversa.

$$Z = R + j X = V / I$$

Aquí  $Z$ : es la impedancia , que se compone de una resistencia y una reactancia  $X$ , la cual es la parte imaginaria de la impedancia y tiene en cuenta el valor capacitivo o inductivo de la impedancia.

NOTA : vea la hoja de operaciones de complejos  
 Observemos los siguientes circuitos:

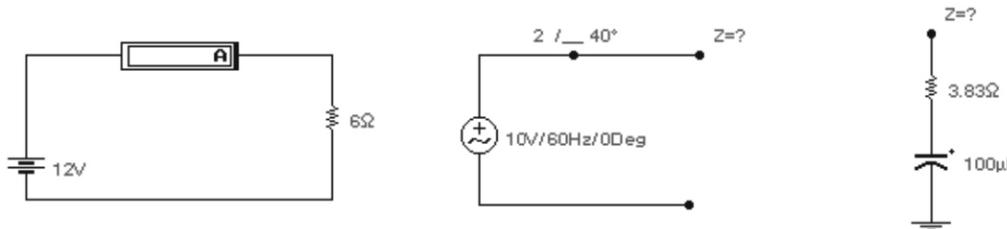


FIGURA 61. LA IMPEDANCIA Z EN CIRCUITOS DE AC

Se define por la ley de ohm en forma análoga a la resistencia R en los circuitos DC. Su parte real es la resistencia, la parte imaginaria  $j$  es la reactancia (inductiva o capacitiva).

A diferencia de las corrientes y voltajes alternos la impedancia no es un fasor, pues su representación en el plano complejo permanece constante y no varía en el tiempo.

Al convertir el valor de Z de polar a rectangular se obtiene:

$$Z = 5 \angle -40^\circ \Omega = 3.83 - j 3.21 \Omega = R - j X \Omega$$



## BIBLIOGRAFÍA

DORF. SVOBODA. Introducción al Análisis y Diseño de Circuitos Eléctricos. 3ª Edición. Alfaomega.

EDMINISTER, NAHVI. Circuitos Eléctricos. Serie Schawm. Mc Graw Hill. 3a Edicion.

GUSSOW. Fundamentos de Electricidad. Serie Schawn. Mc Graw Hill. Traducido de la primera edición en Inglés

LÓPEZ C. YURI U. Apuntes de Clase. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. Cali.1999.

MILEAF HARRY. Electricidad Seis Limusa. México D.F. 1982.

RAMÍREZ VÁSQUEZ, JOSE. Estaciones de Transformacion Distribución, Protección de Sistemas Eléctricos. Enciclopedia Ceac de Electricidad. Perú. Mayo 1985.

SENA FAD VALLE. Educación abierta y a distancia. Módulo Resistencia Eléctrica.1993

Stephenson George e. Tecnología de la Energía. Diana. México.1979

TECSUP. Instituto Superior Tecnológico. Lima Perú. Fundamentos de Electrotécnia. Programa de Capacitación Continua. Lima. Agosto 1998

WILLIAN ROADSTRUM. WOLAVER. Introducción a la Ingenieria Eléctrica. Harla. México. 1989.

[www.abb.com](http://www.abb.com)

[www.varta.com](http://www.varta.com)

<http://co.portable.varta.com/>

<http://tesla.cuao.edu.co/analoga/yuri>

<http://www.minminas.gov.co>

<http://www.isa.com.co>

<http://www.creg.gov.co/index.html>

[www.mheine.com/technical.html](http://www.mheine.com/technical.html)



## ANEXO 1. Empresas electrificadoras de la nación

**TABLA 3. ORGANISMOS DEL SECTOR ELÉCTRICO -  
ELECTRIFICADORAS:**

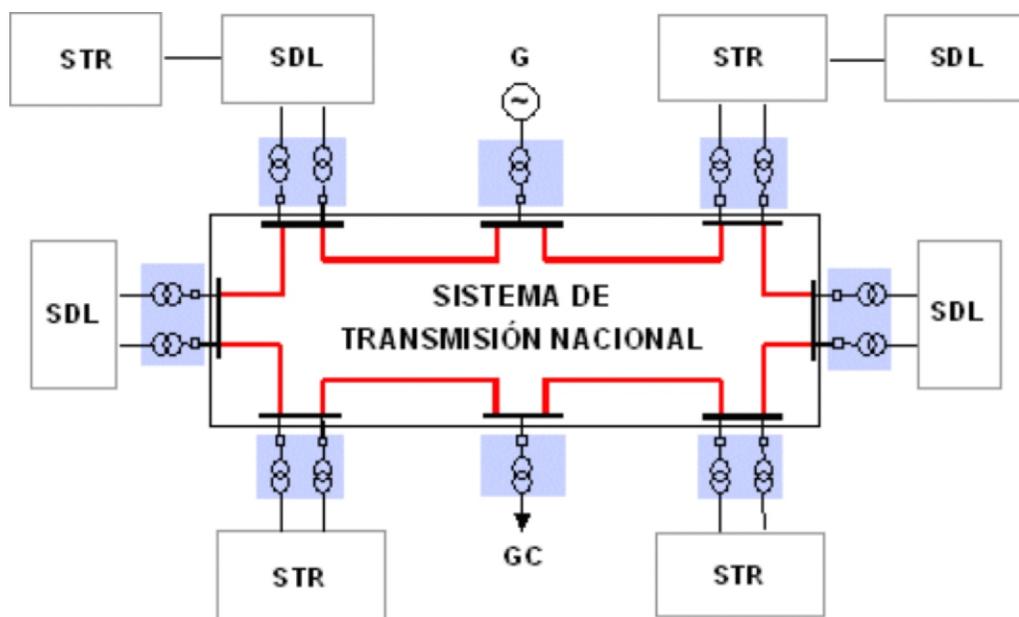
Empresa de Energía de Arauca
Empresa de Energía de Cundinamarca
Electrificadora del Caquetá S.A.
Empresa de Energía de Boyacá
Empresa Antioqueña de Energía
Electrificadora del Chocó
Electrificadora del Huila
Electrificadora del Meta S.A.
Centrales Eléctricas de Nariño
Electrificadora del Tolima
Centrales Eléctricas de Norte de Santander
Electrificadora de Santander
Electrificadora del Quindío S.A.
Central Hidroeléctrica de Caldas
Centrales Eléctricas del Cauca
Empresa de Energía del Amazonas
Archipiélago's Power and Light Co. S.A.

Sitio  
actualizado el 07/04/2002

<http://www.minminas.gov.co>



## ANEXO 2. Sistema de interconexión nacional (sistema eléctrico colombiano)



ESQUEMA DEL SISTEMA INTERCONECTADO COLOMBIANO

STN: SISTEMA DE TRANSMISIÓN NACIONAL  
STR: SISTEMA DE TRANSMISIÓN REGIONAL  
SDL: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL  
G: GENERACIÓN  
GC: GRAN CONSUMIDOR

Fuente: [www.isa.com.co](http://www.isa.com.co)



## ANEXO 3. Capacidad de generacion de energia en colombia

**TABLA. CENTRALES GENERADORAS COLOMBIANAS**

En la siguiente tabla se clasifican las plantas generadoras colombianas, de acuerdo a la región del país a la cual pertenecen.

NOMBRE DEPARTAMENTO	EMPRESA	CAPACIDAD EFECTIVA MW			
<b>ANTIOQUIA</b>			<b>BOLÍVAR</b>		
<b>P. HIDROELÉCTRICAS</b>			<b>P. TERMOELÉCTRICAS</b>		
SAN CARLOS I	ISA	620.0	TERMO CARTAGENA	CORELCA	
SAN CARLOS II	ISA	620.0	CASPIQUE	CORELCA	203.0
CALDERAS	ISA	18.0			39.0
JAGUAS	ISA	170.0	<b>BOYACÁ</b>		
			<b>P. HIDROELÉCTRICA</b>		
GUADALUPE II	E.E.P.P.M.	10.0	CHIVOR I	ISA	500.0
GUADALUPE III	E.E.P.P.M.	270.0	CHIVOR II	ISA	500.0
GUADALUPE IV	E.E.P.P.M.	202.0	<b>P. TERMOELÉCTRICAS</b>		
TRONERAS	E.E.P.P.M.	36.0	PAIPA I	ICEL	30.0
RÍO GRANDE	E.E.P.P.M.	75.5	PAIPA II	ICEL	60.0
PIEDRAS BLANCAS	E.E.P.P.M.	7.0	PAIPA III	ICEL	75.0
GUADALUPE I	E.E.P.P.M.	560.0	<b>CALDAS</b>		
AYURA	E.E.P.P.M.	17.0	<b>P. HIDROELÉCTRICAS</b>		
PLAYAS	E.E.P.P.M.	200.0	ESMERALDAS	ICEL	30.0
			INSULA	ICEL	18.0
			SAN FRANCISCO	ICEL	135.0
<b>ATLÁNTICO</b>			<b>CAUCA</b>		
<b>P. TERMOELÉCTRICAS</b>			<b>P. HIDROELÉCTRICAS</b>		
TERMO BARRANQUILLA	CORELCA	304.0	SALVAJINA	C.V.C	270.0
EL RÍO	CORELCA	76.5	FLORIDA II	ICEL	24.0
RÍO MAR	CORELCA	6.0	<b>NORTE DE SANTANDER</b>		
LA UNIÓN	CORELCA	55.2	<b>P. TERMOELÉCTRICAS</b>		
			TIBU I - II - III	ICEL	15.0

<b>CÓRDOBA</b>			ZULIA I	ICEL	10.0
<b>P. TERMOELÉCTRICAS</b>			TASAJERO	ICEL	150.0
CHINU	ISA	133.0			
CHINU	CORELCA	38.0			
<b>CUNDINAMARCA</b>			<b>SANTANDER</b>		
<b>P. HIDROELÉCTRICAS</b>			<b>P. HIDROELÉCTRICAS</b>		
RÍO NEGRO	ICEL	10.0	PALMAS - SAN GIL	ICEL	15.0
PARAÍSO - LA GUACA	E.E.B.B.	600.0			
			<b>P. TERMOELÉCTRICA</b>		
SALTO I	E.E.B.B.	55.0	BARRANCA I - II	ICEL	24.0
SALTO II	E.E.B.B.	70.0	BARRANCA III	ICEL	55.0
LAGUNETA	E.E.B.B.	72.0	BARRANCA IV	ICEL	32.0
COLEGIO	E.E.B.B.	300.0	PALENQUE III - IV	ICEL	20.0
			PALENQUE V	ICEL	22.0
<b>P. TERMOELÉCTRICAS</b>			<b>TOLIMA</b>		
TERMO ZIPA I - II	E.E.B.B.	65.0	<b>P. HIDROELÉCTRICA</b>		
TERMO ZIPA III	E.E.B.B.	65.0	PRADO	ICEL	51.0
TERMO ZIPA IV	ISA	66.0			
TERMO ZIPA V	ISA	66.0	<b>VALLE</b>		
			<b>P. HIDROELÉCTRICA</b>		
<b>GUAJIRA</b>			ALTO ANCHICAYA	EPSA	345.0
<b>P. TERMOELÉCTRICAS</b>			BAJO ANCHICAYA	EPSA	68.0
BALLENAS	CORELCA	32.0	CALIMA	EPSA	120.0
TERMO GUAJIRA	CORELCA	320.0			
<b>HUILA</b>					
CENTRAL	C.H.B.	510.0			
HIDROELÉCTRICA DE					
BETANIA					
<b>NARIÑO</b>					
<b>P. HIDROELÉCTRICA</b>					
RÍO MAYO	ICEL	21.0			