TEORÍA DE LOS CIRCUITOS I

PROF. DR. ING. S. ENRIQUE PULIAFITO, ING. JORGE CASTILLO

CLASES TEÓRICAS: LUNES 19:00 - 21:15

CLASES PRÁCTICAS: MARTES 19:00 - 21:15

CONSULTAS: LUNES 18:00 A 19:00

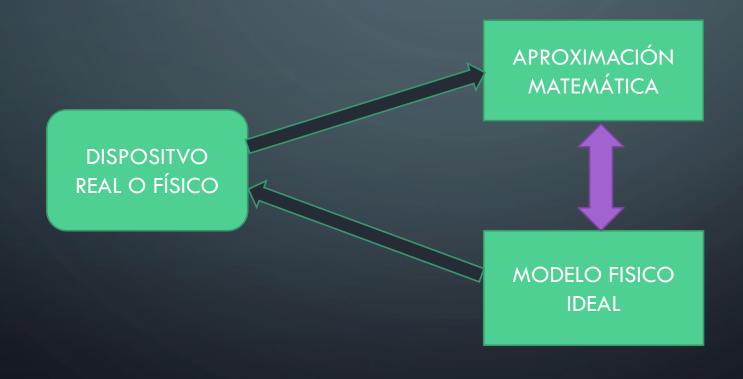
enrique.puliafito@gmail.com

PROPIEDADES Y LEYES FUNDAMENTALES

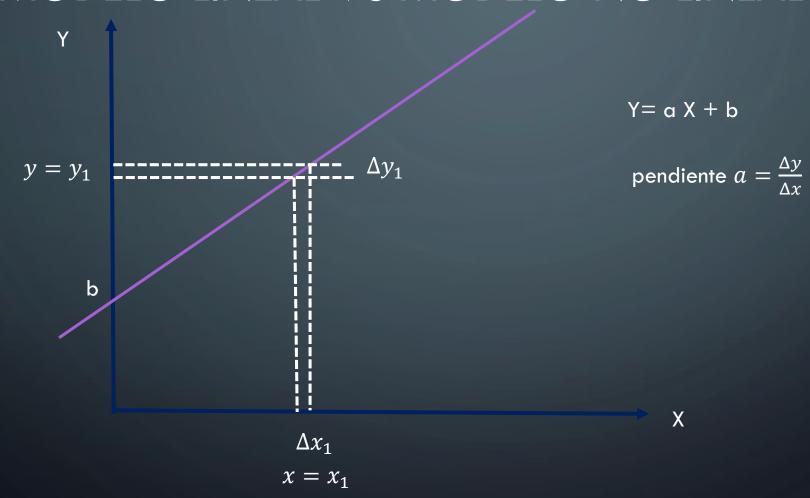
- El análisis de los circuitos es la disciplina básica de la ingeniería eléctrica que trata la transferencia de energía de un dispositivo a otro, sin preocuparse por la estructura interna del mismo o su posición relativa. Por lo tanto, sólo considera la transmisión de energía de un dispositivo a otro.
- Se pretende predecir el comportamiento de los dispositivos eléctricos reales interconectados de diversas maneras. Para ello se usan modelos que permiten describir estos dispositivos matemáticamente.
- El grado de exactitud de una ciencia dependerá del grado de correspondencia entre los modelos y las realidades físicas

SOBRE LOS MODELOS

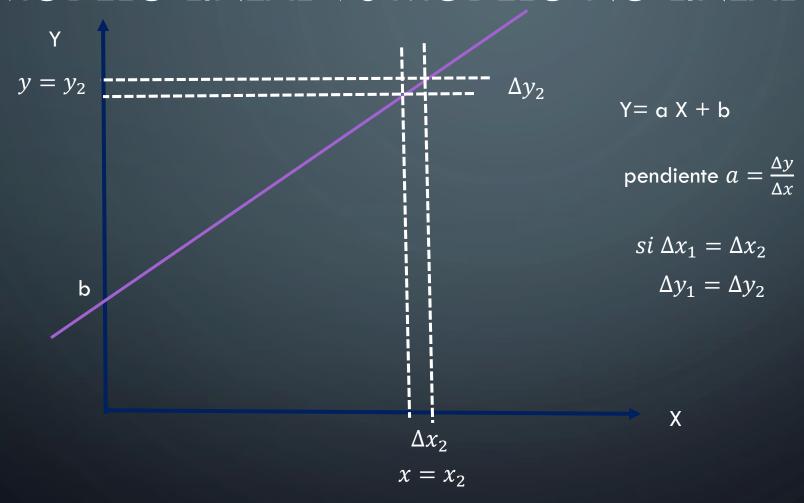
Modelos. Son aproximaciones o idealizaciones de la realidad



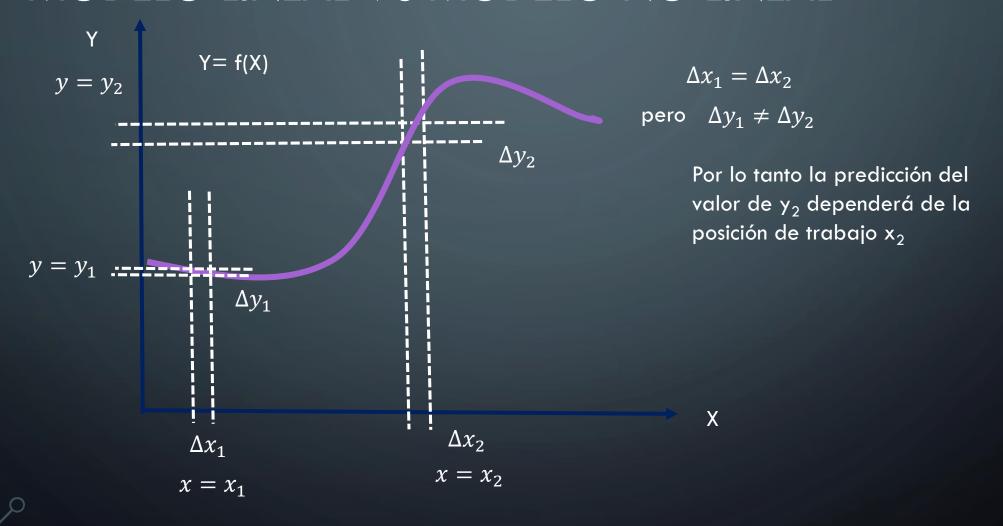
MODELO LINEAL VS MODELO NO LINEAL



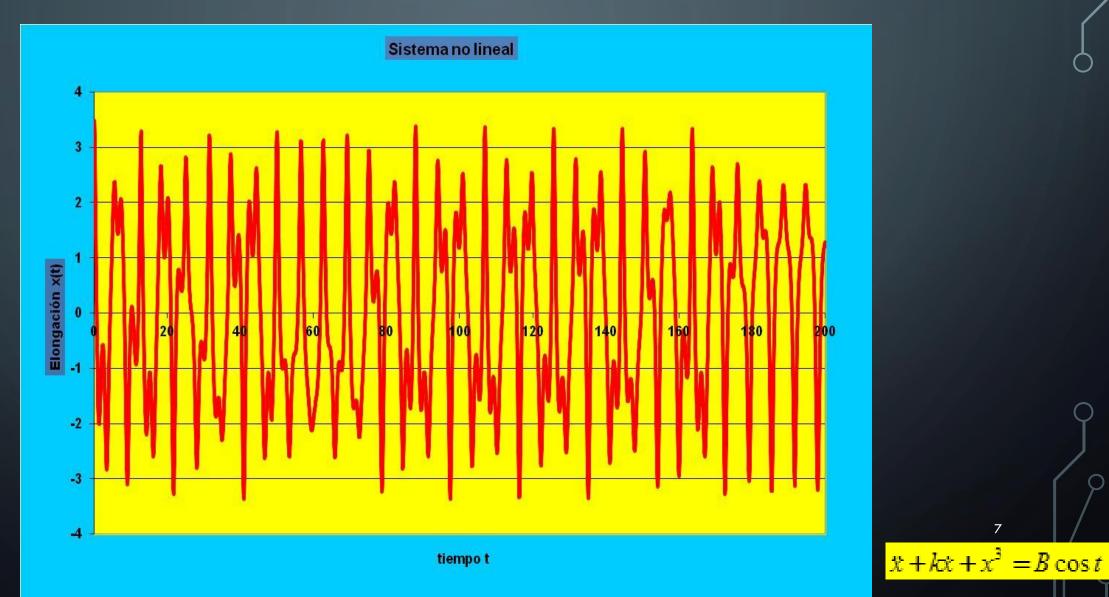
MODELO LINEAL VS MODELO NO LINEAL



MODELO LINEAL VS MODELO NO LINEAL



EJEMPLO DE SISTEMA NO LINEAL: OSCILADOR CAÓTICO DE DUFFING

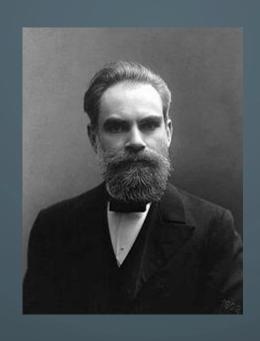


SISTEMAS NO LINEALES

- Los primeros estudios de dinámica nolineal se basaron en tratar de describir el movimiento de los planetas. Pero el verdadero precursor de la dinámica geométrica es Henri Poincaré (1854-1912) quien desarrolló el método del espacio de fase para describir trayectorias dinámicas. Otros investigadores posteriores fueron G. Birkhoff (1884-1944), Duffing, Liapunov, Van der Pol, entre otros. Pero fueron los estudios de predicción meteorológica publicada por Lorenz en 1963, quien dio un primer ejemplo de comportamiento caótico persistente en el tiempo.
- Poincaré, H. (1890). Sur les équations de la dynamique et le problème de trois corps. Acta Math., 13,1-270.
- Duffing, G. (1918). Erzwungene Schwingungen bei Veränderlicher Eigenfrequenz, Vieweg, Braunschweig.
- Liapunov, A.M. (1949). Problème Général de la Stabilité du Mouvement. Annals of Mathem. Studies vol 17.
- Van der Pol, B. And Van der Mark, J. (1927). Forced oscillations in a circuit with nonlinear resistance. Phil. Mag. (7),2,978-992.
- Lorenz ,E.N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. J Atmos. Sci, 20,130-141.



Henri Poincare Nancy, Francia, 1854 - París, 1912



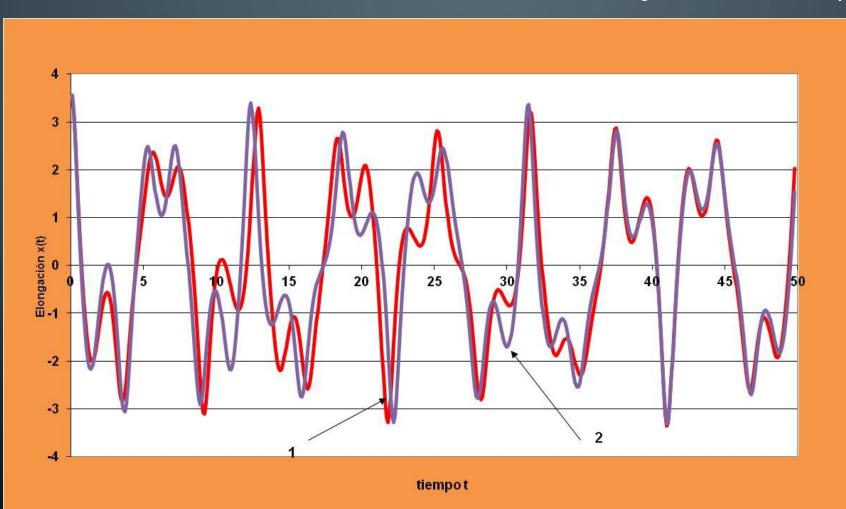
Aleksandr Lyapunov Rusia 18*57* – 1918 Ucrania



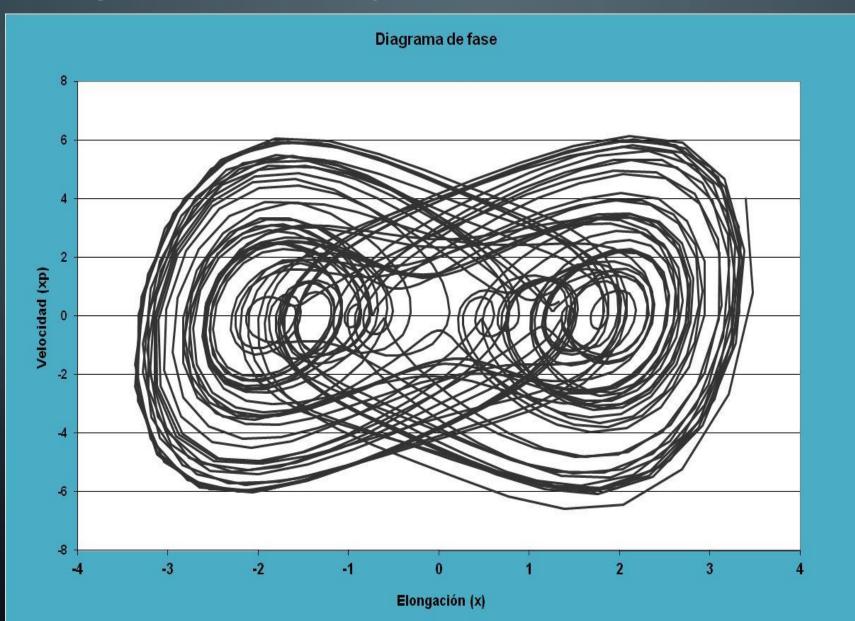
Edward Lorenz EE.UU. 1917- 2008 Prof. Meteorología MIT

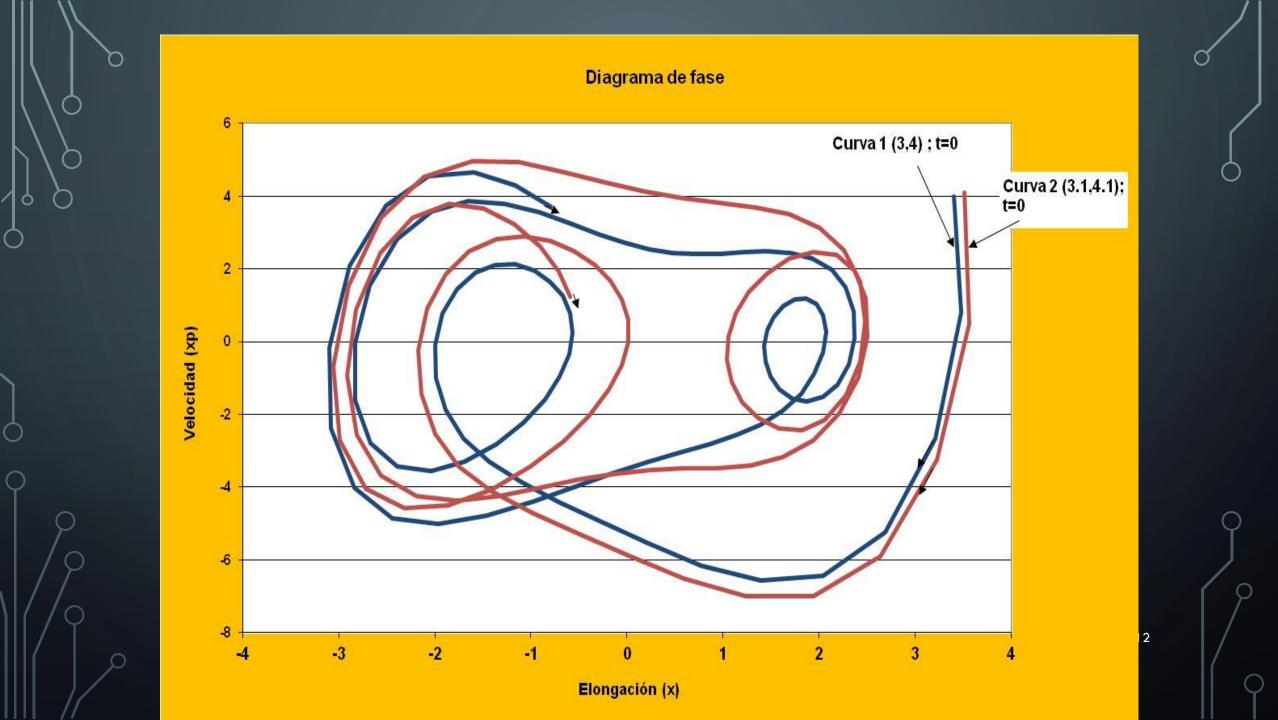
OSCILADOR CAÓTICO DE DUFFING DIAGRAMA DE FASE

Pequeños cambios en las condiciones $x + \Delta x$ generan dos salidas y distintas



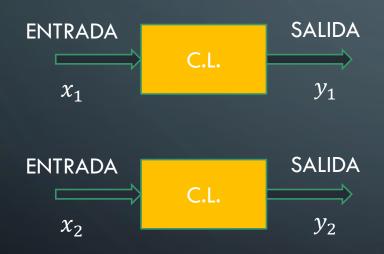
OSCILADOR CAÓTICO DE DUFFING DIAGRAMA DE FASE





MODELO LINEAL

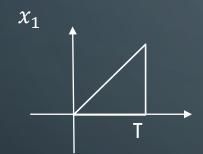
• Cumple con el principio de superposición

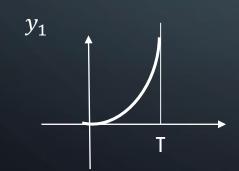




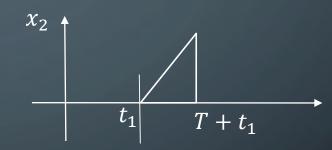
MODELO LINEAL INVARIANTE EN EL TIEMPO

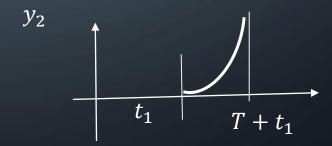






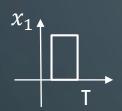


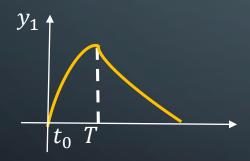


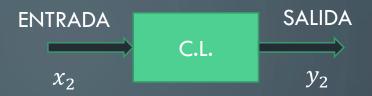


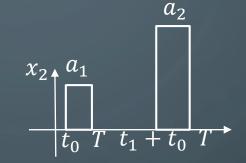
SUPERPOSICIÓN Y SISTEMAS INVARIANTE EN EL TIEMPO

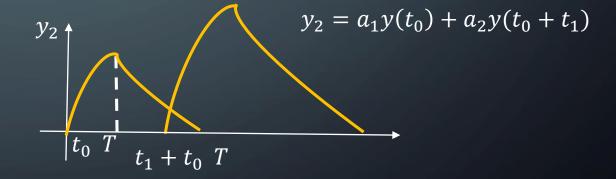








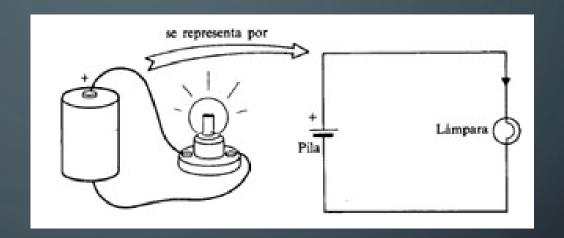




IDEALIZACIONES DE LOS CIRCUITOS

• 1. Circuitos idealizados

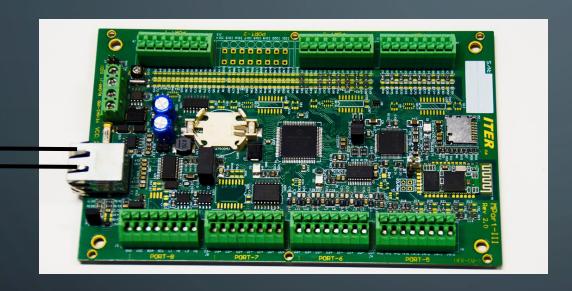




• Conjunto de elementos eléctricos conectados entre sí con un objetivo

IDEALIZACIONES DE LOS CIRCUITOS

• 2. Propiedades o parámetros concentrados



Par de terminales

Elemento concentrado

3. Propagación de los efectos a velocidad infinita (c = 300 mil km/s)

Esto es válido para circuitos cuyo tamaño es menor que la longitud de onda de la frecuencia de trabajo $\lambda = \frac{c}{f}$; p. ej. $\lambda = \frac{300\ 000\ 000\ m/s}{50\ 1/s} = 6000$ km; ... $\lambda = \frac{300\ 000\ 000\ m/s}{300\ 000\ 000\ 1/s} = 1$ m

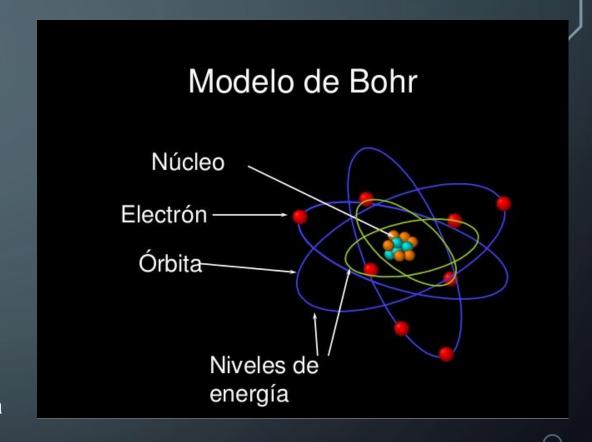
ENERGÍA, CORRIENTE Y CARGA ELÉCTRICA

- Si bien nos interesa la **ENERGÍA** de un punto a otro del circuito, la **ENERGÍA** no es una unidad fácil de medir directamente, sino sólo en forma indirecta, por ejemplo para los circuitos eléctricos se la realiza a través de la corriente y la tensión.
- En los sistemas mecánicos se usa la masa y la velocidad.

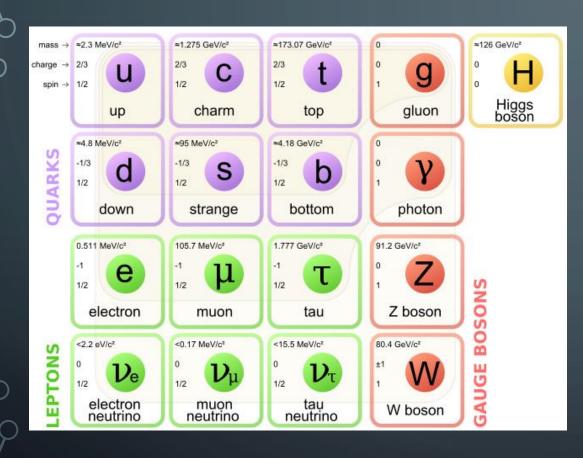
• Para definir la corriente y la tensión es necesario introducir el concepto de carga eléctrica, el cual se basa en el esquema atómico de la materia.

MODELO ATÓMICO

- El átomo se representa como un núcleo cargado positivamente, rodeado de electrones cargados negativamente, así el átomo resulta neutro.
- Si se quitan electrones, este quedará cargado positivamente. Si el átomo tiene un exceso de electrones éste estará cargado negativamente.
- Desde un punto de vista físico la carga eléctrica unitaria es la carga de un electrón, considerada negativa con una masa de 9,107 x 10⁻³¹ Kg.
- Por su magnitud tan pequeña, la unidad práctica de carga es el Coulomb (C) y es de 6,24 x 10¹⁸ electrones.
- Es decir la carga del electrón es de 1,6021 x 10⁻¹⁹ C

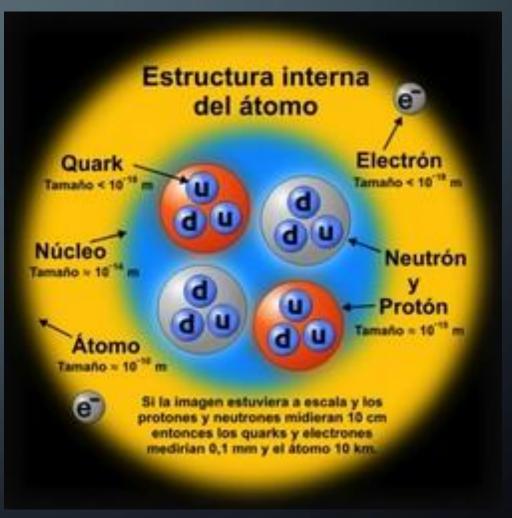


MODELO ESTÁNDAR DE LA MECÁNICA CUÁNTICA



Componentes de la materia

Responsables de las interacciones



CORRIENTE ELÉCTRICA

• La corriente eléctrica es la unidad básica de la teoría o análisis de circuitos, y se la define como el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

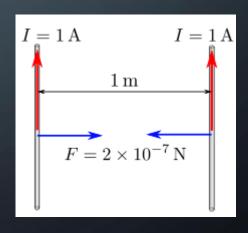
- donde i es la corriente y se mide en amperes (A), q es la carga y se mide en Coulombs (C) y
 t es la unidad de tiempo en segundos.
- Es decir la corriente eléctrica es la transferencia de carga de un punto a otro del circuito y mide la rapidez con que la carga de los electrones libres pasan de un átomo al siguiente.
- En aquellos materiales donde existen numerosos electrones libres se los denomina conductores.
- Los materiales que tienen relativamente pocos electrones libres son los llamados <u>aislantes</u>. Existen también otros materiales denominados semiconductores que tienen propiedades especiales muy importantes en la electrónica.

EL AMPERE

• El ampere (A) es la intensidad de una corriente constante que, manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de un metro uno de otro en el <u>vacío</u>, produciría una <u>fuerza</u> igual a 2×10⁻⁷ <u>newton</u> por <u>metro</u> de longitud.

$$1 C = 1 A \times 1 s$$

Unidad básica del sistema de mediciones junto con el metro, el segundo, y el kilogramo. Su **definición** no depende de la cantidad de carga eléctrica, sino que a la inversa, el culombio es una unidad derivada definida como la cantidad de carga desplazada por una corriente de un **amperio** en un período de tiempo de un segundo.



https://es.wikipedia.org/wiki/Amperio

Charles Agustín de Coulomb (1736-1806) Físico e Ingeniero francés nacido en Angulema, ingresó en el año de 1758 al cuerpo de ingenieros militares y fue nombrado miembro de la Academia de Ciencias en 1784. Su vida laboral se ve influenciada por el comienzo de la revolución francesa en el año de 1789, retirándose de sus cargos públicos y militares para dedicarse de lleno a la investigación, motivado por la innovación en instrumentos eléctricos y mecánicos útiles para la época.

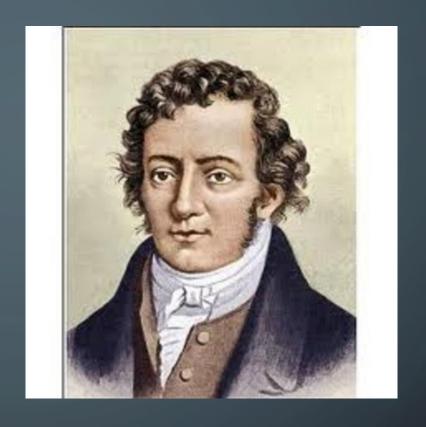
La obra científica de Charles Agustín de Coulomb, se encuentra registrada en siete memorias que el mismo escribió, donde expone de forma teórica las bases de la electrostática y el magnetismo. En estas memorias también se encontraban estudios relacionados con la electrización por frotamiento y la polarización. Coulomb también colaboró en la planificación del sistema métrico decimal de pesas y medidas y en su honor la unidad de medida de carga eléctrica, el Coulomb recibe su nombre

CHARLES AGUSTÍN DE COULOMB (1736-1806)



http://www.tochtli.fisica.uson.mx/electro/historia.htm#Mileto

ANDRÉ MARIE AMPERE (1775-1836)



André Marie Ampere (1775-1836) Matemático y físico Frances, nacido cerca de Lyon, es conocido por sus aportes al estudio de la corriente eléctrica y el magnetismo, que son las bases del electromagnetismo. Publico dos libros sobre la relación que existe entre la electricidad y magnetismo, en 1822 con su libro Colección de observaciones sobre la electrodinámica y en 1826, con su libro, Teoría de los fenómenos electrodinámicos.

http://www.tochtli.fisica.uson.mx/electro/historia.htm#Mileto

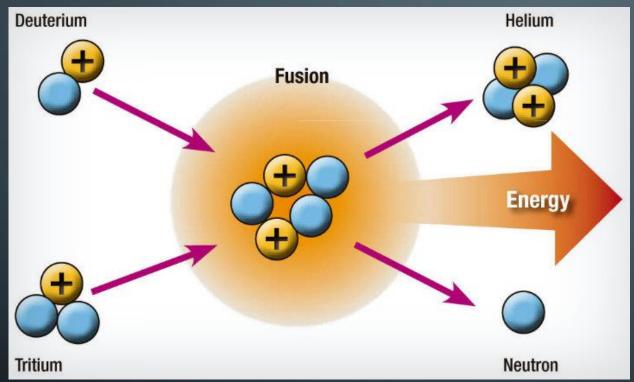
CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

• Otro concepto importante en el modelo que se describe es el

principio de la conservación de la energía.

- Este principio establece que ésta no se crea ni se destruye, sino que se transforma.
- Por lo tanto la energía eléctrica se obtiene por conversión de otras formas de energía, por ejemplo:
- Conversión de energía electromecánica: Producción de energía eléctrica a partir de la mecánica de rotación. Esta energía mecánica se obtiene, a su vez, por conversión de energía térmica en mecánica a través de una turbina (combustión fósil o nuclear, hidráulica, etc).
- Conversión de energía electroquímica: Las baterías eléctricas producen energía por conversión de energía química.
- Conversión de energía fotovoltaica: Convierten la energía lumínica solar en energía eléctrica.

NO TENDREMOS EN CUENTA LA REACCIÓN NUCLEAR





VOLTAJE O TENSIÓN

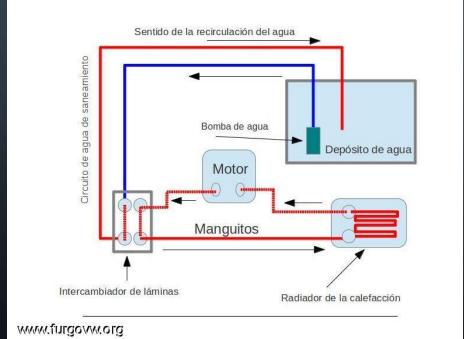
• Las fuentes no crean cargas, sólo las impulsan a lo largo del circuito. Es decir, la energía se gasta en el trabajo de movilizar las cargas alrededor del circuito. Es por ello que se define el concepto de "energía por unidad de carga" o "trabajo por unidad de carga" como el voltaje o la tensión eléctrica. Si a una cantidad diferencial de carga dq se le da un incremento diferencia de energía dw, el potencial de la carga se incrementa por la cantidad:

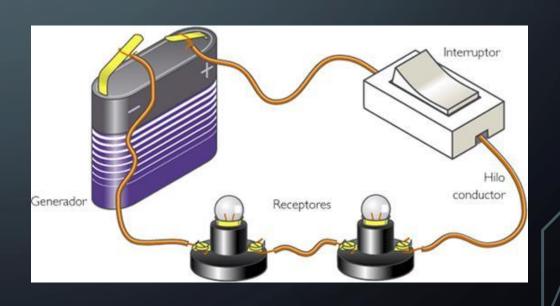
$$v = \frac{dw}{dq}$$

donde w es el trabajo o energía (en joules), q es la carga (en Coulombs) y v el voltaje se mide en volts (V). Al voltaje también se lo denomina fuerza electromotriz o Fem.









FUENTES Y VOLTAJE

Si el voltaje lo multiplicamos por la corriente:

$$\frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = \frac{dw}{dt} = p \tag{1.3}$$

el resultado es una rapidez del cambio de energía que llamamos **potencia p**. Por lo tanto, la potencia es el producto de la tensión por la corriente:

$$p = v i ag{1.4}$$

La potencia se mide entonces en

La energía total en cualquier tiempo dado t es la integral:

$$\int_{-\infty}^{t} p \ dt = w \tag{1.5}$$

PARAMETROS DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS

• Las fuentes que suministran una cantidad de Coulomb por segundos (corriente constante), independientemente de la energía requerida se denominan fuentes de corrientes.

• Las fuentes que suministran una tensión constante (carga con una energía dada) independientes de la cantidad de Coulomb requerida, se llaman fuentes de tensión.





PARAMETROS DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS

La relación corriente - tensión está dada por la naturaleza del dispositivo en cuestión.

Existen tres tipos básicos de elementos circuitales lineales:

una resistencia, es un elemento que disipa energía,

una inductancia almacena energía por la corriente que circula por él,

un *capacitor* que almacena energía debido al voltaje existente a través de sus bornes.

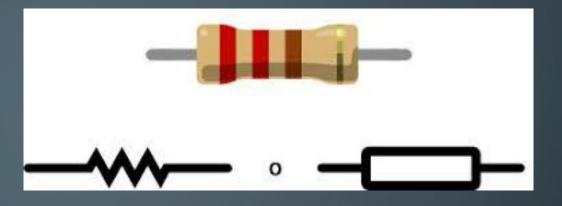
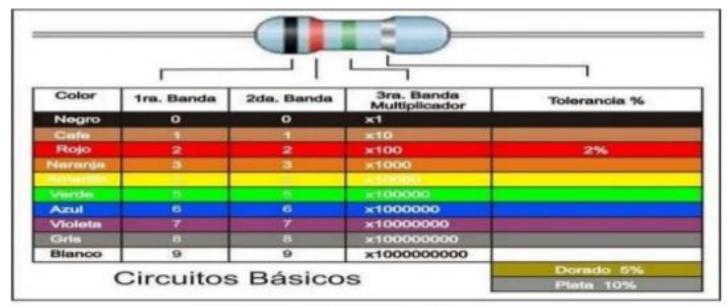


TABLA DE CÓDIGOS DE COLORES DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS



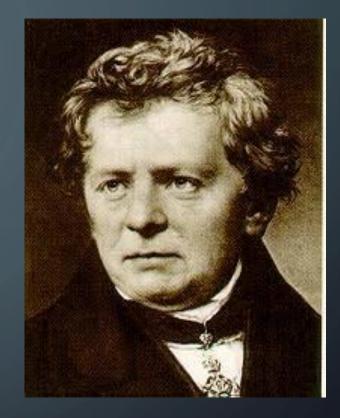
Por www.areatecnologia.com

CÓDIGOS DE COLORES



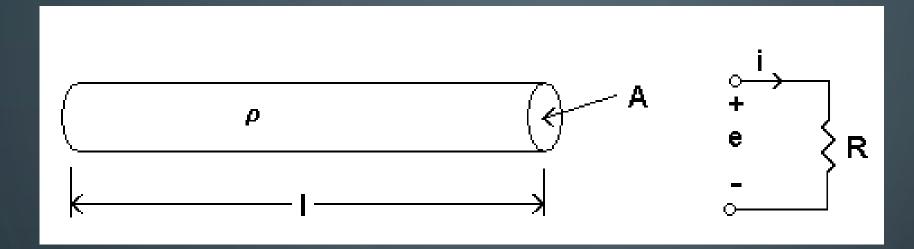


- Los electrones que pasan a través de un material chocan con partículas atómicas, por ser este choque inelástico pierden energía en cada choque. La pérdida de energía por unidad de carga se manifiesta como una caída de tensión.
- El físico alemán Georg Simon Ohm (1787-1854),
 descubrió experimentalmente en 1826 la relación
 corriente caída de tensión para los materiales



Fue un físico alemán, nacido en la ciudad de Erlangen, ampliamente reconocido por sus estudios sobre las corrientes eléctricas. Fue catedrático de física experimental en la Universidad de Munich desde 1849 hasta el día de su muerte.

Teoría matemática del circuito galvánico



$$i = \frac{A e}{\rho L}$$

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

Ohm demostró que el flujo de corriente en un circuito, formado por una batería y un alambre conductor de sección uniforme depende *de*:

A el área transversal del conductor, ρ la resistividad del material,

L la longitud y **e** la tensión a través del alambre en volts

i es la corriente que atraviesa el elemento en amperesR es la resistencia medida en ohms

$$e = R i$$

$$i = \frac{e}{R} = G e$$

donde G = 1/R es la *conductancia* medida en mhos.

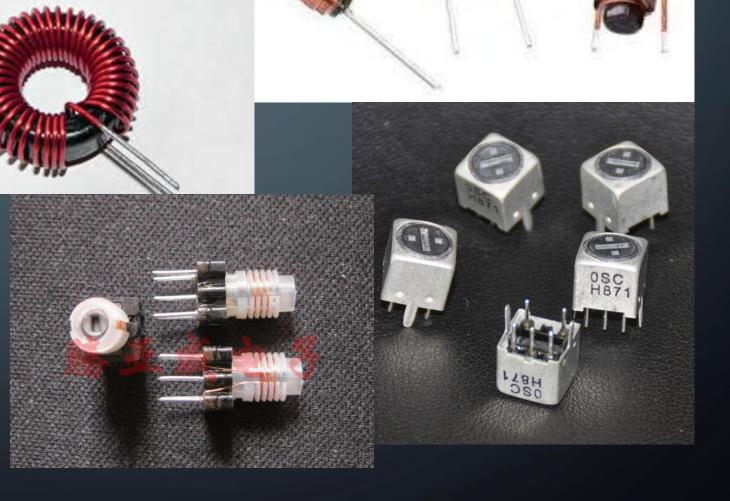
La potencia disipada por la resistencia será,

$$p = e \ i = i^2 R = \frac{e^2}{R}$$

de acuerdo con la convención de signos, una potencia positiva significa disipación

INDUCTANCIA





INDUCTOR

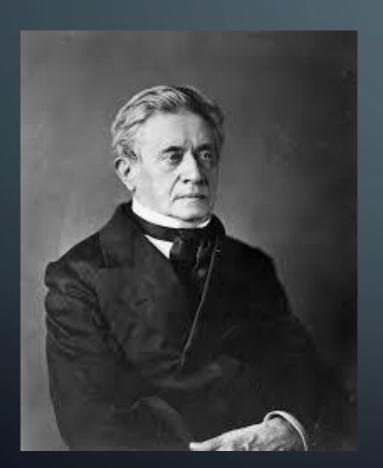
- El inductor es un elemento que almacena energía en forma de campo magnético dependiente de la corriente eléctrica que circula en ella.
- La inductancia fue descubierta por Michael Faraday en 1831. Hans Christian Oersted (1777-1851) de Copenhague descubrió el campo magnético asociado a una corriente eléctrica. Para los mismos años, en Estados Unidos, Joseph Henry estudiaba también el electromagnetismo.
- En el circuito idealizado de la inductancia, la tensión es proporcional, no a la corriente misma, como en la resistencia, sino al cambio de la corriente. La constante de proporcionalidad se la llama inductancia y se la simboliza con *L*.

CHRISTIAN OERSTED **1777-1851**



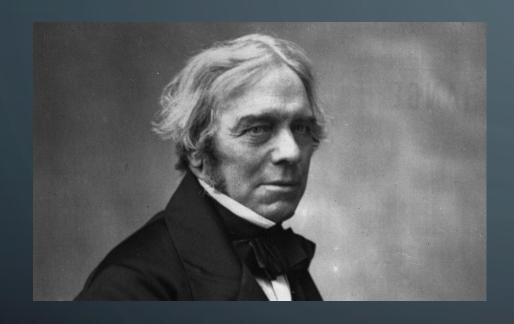
Este químico Danes , nacido en Rudköbing, se desempeño como profesor de física en la Universidad de Copenhaghe predijo la existencia de los fenómenos electromagnéticos en 1813, lo que comprobó en 1819 junto a Ampere, al descubrir la desviación de una aguja enmantada que se pone en dirección perpendicular a un conductor por que el que circula un flujo de corriente, iniciándose así en el campo del electromagnetismo. Se dice también que en el año 1825, logra aislar el aluminio por electrolisis.

JOSEPH HENRY 1797 - 1878



El norteamericano Joseph Henry estudia el comportamiento de los electroimanes, observando que su polaridad tenía una variación proporcional al cambio de la dirección del flujo de corriente, desarrollando así el concepto de "Conductancia propia" En el año de 1846 Henry es nombrado el primer director del museo Smithsonian.

MICHAEL FARADY 1791-1867



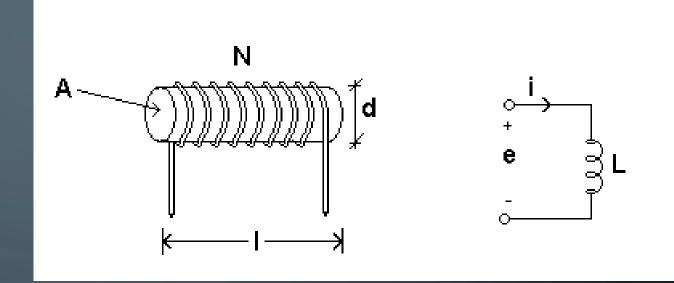
El físico y químico ingles Michael Faraday (1791-1867), fue reconocido por su descubrimiento de la inducción de la electromagnética, lo que posteriormente permitió la construcción de generadores y motores eléctricos. Este físico escribió obras y artículos científicas, destacando entre ellos:

Manipulación química, 1827 Investigaciones experimentales en electricidad, 1855 Investigaciones experimentales en física y química, 1859; La historia química de una bujía, 1861.

INDUCTANCIA

La relación volt -ampere para un inductor es:

$$e = L \frac{di}{dt}$$

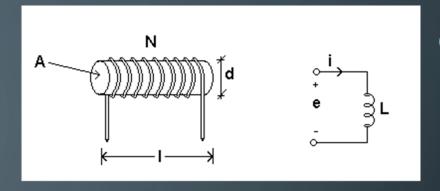


donde L es la inductancia, medida en henry, e es la tensión entre sus bornes y di/dt es la velocidad de cambio de la corriente en amperes por segundo.

Un inductor ideal es una bobina con N vueltas de alambre sin resistencia. Si enrollamos una bobina en formal helicoidal, en una sola capa, y suponiendo que la longitud l de la bobina es mayor que el diámetro d de la misma; entonces su inductancia será

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l + 0.45 d} = kN^2$$

INDUCTANCIA



- Donde, A es el área transversal de la bobina y $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Hy/m, es una constante de permeabilidad del espacio libre. En general los núcleos de hierro tienen mayor permeabilidad que el aire, y por lo tanto concentran más el flujo magnético. Por lo tanto una bobina con núcleo de hierro tiene mayor inductancia que una con núcleo de aire.
- Para obtener la corriente que circula por una inductancia, conocida la tensión e como función del tiempo, es

$$i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^{t} e \ dt$$

La potencia entrante al inductor será

$$p = e \ i = Li \ \frac{di}{dt}$$

Cuando la corriente permanece constante no existe un almacenamiento adicional de energía, pero si la corriente aumenta, la derivada de la corriente es positiva, la potencia es positiva y finalmente aumenta la energía.

La energía total almacenada en el inductor será:

$$W_{L} = \int_{-\infty}^{t} ei \ dt = \int_{-\infty}^{t} Li \ \frac{di}{dt} dt = \int_{0}^{I} Li \ di = \frac{1}{2} LI^{2}$$

donde W_L es la energía almacenada en el instante t, en Joules, e l es la corriente circulante en el instante t. Nótese que el valor de la energía en el instante t, depende solamente de la corriente instantánea l circulante y no de la historia pasada de la inductancia.

El segundo término representa la corriente inicial para el instante t = 0, y sintetiza la historia pasada de la inductancia

$$i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^{t} e \, dt = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^{0} e \, dt + \frac{1}{L} \int_{0}^{t} e \, dt$$
$$i = I_{0} + \frac{1}{L} \int_{0}^{t} e \, dt$$