

Tema 1 – Capítulo 23. Campos Eléctricos

- Propiedades de las cargas eléctricas
 1. Las cargas de signos contrarios se atraen, cargas del mismo signo se repelen.
 2. La carga eléctrica siempre se conserva.
 3. La carga está cuantizada, es decir, existen paquetes discretos que son múltiplos enteros de la carga del electrón. $Q = N \cdot e$
 4. La fuerza entre las cargas varía inversamente al cuadrado de la distancia que las separa.

- Los conductores son materiales en los cuales las cargas se mueven con facilidad.
- Aislantes son los materiales que no transportan la carga con facilidad.
- La ley de Coulomb establece que la fuerza electrostática entre partículas estacionarias cargadas separadas una distancia r tiene una magnitud dada por: $F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$ donde la constante $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ y $\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12}$

- La unidad de carga más pequeña conocida en la naturaleza es la carga de un **electrón** o un **protón**. La magnitud de esta carga es dada por: $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} C$
- Propiedades:
 1. La fuerza es inversamente proporcional al enverso del cuadrado de la distancia de separación r entre las dos partículas, medido a lo largo de una línea recta que las une.
 2. La fuerza es proporcional al producto de las cargas q_1 y q_2 de las dos partículas.
 3. La fuerza es atractiva si las cargas son de signos opuestos, y repulsiva si las cargas son del mismo signo.

- El **campo eléctrico E** en algún punto en el espacio está definido como la fuerza eléctrica **F** que actúa sobre una pequeña carga de prueba colocada en ese punto, dividida por la magnitud de carga de prueba q : $E = \frac{F}{q_0}$
- El campo eléctrico debido a una carga puntual q a una distancia r de la carga está dada por: $E = k \cdot \frac{|q|}{r^2} \cdot \hat{r}$ donde \hat{r} es el vector unitario dirigido desde la carga hacia el punto.
- Las **líneas de campo eléctrico** se usan para describir el campo eléctrico en alguna región del espacio. El vector de campo eléctrico **E** siempre es tangente a la línea de campo en cualquier punto. Reglas para trazar líneas de campo eléctrico:
 1. Las líneas deben partir de cargas positivas y terminar en las cargas negativas o bien en el infinito en el caso de un exceso de carga.
 2. El número de líneas que partan de la carga positiva o lleguen a la negativa es proporcional a la magnitud de la carga.
 3. Dos líneas de campo no pueden cruzarse.

Tema 2 – Capítulo 24. Ley de Gauss

- Es un procedimiento alternativo para calcular campos eléctricos. Se basa en el hecho de que la fuerza electrostática fundamental entre dos cargas puntuales es una ley inversa del cuadrado.
- Flujo eléctrico es la medida del número de líneas de campo eléctrico que penetran una superficie. Si el campo eléctrico es uniforme y hace un ángulo θ con la normal a la superficie, el flujo eléctrico a través de la superficie es: $\Phi = E \cdot A \cdot \cos \theta$
- En general, el flujo eléctrico a través de una superficie se define por la expresión $\Phi = \oint E \cdot dA$
- La ley de Gauss dice que el flujo eléctrico neto Φ_c , a través de cualquier superficie gaussiana es igual a la carga neta encerrada en la superficie dividida por ϵ_0 :

$$\Phi_c = \oint E \cdot dA = \frac{q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

- Campos eléctricos típicos calculados utilizando la ley de Gauss:

- *Esfera aislante de radio R densidad de carga uniforme y carga total Q:*

$$\text{Con } r > R \quad E = k \cdot \frac{Q}{r^2} \quad \text{Con } r < R \quad E = k \cdot \frac{Q}{R^3} \cdot r$$

- *Cascarón esférico delgado de radio R y carga total Q:*

$$\text{Con } r > R \quad E = k \cdot \frac{Q}{r^2} \quad \text{Con } r < R \quad E = 0$$

- *Líneas de carga de longitud infinita y carga por unidad de longitud λ :*

$$\text{Afuera de la línea de carga} \quad E = 2 \cdot k \cdot \frac{\lambda}{r}$$

- *Plano infinito no conductor cargado con carga por unidad de área σ :*

$$\text{En todo punto fuera del plano} \quad E = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon^2}$$

- *Superficie conductora cargada con carga por unidad de área σ :*

$$\text{Precisamente fuera del conductor} \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$\text{Adentro del conductor} \quad E = 0$$

- Un **conductor en equilibrio electrostático** tiene las siguientes propiedades:

- El campo eléctrico es cero en cualquier punto del interior del conductor.
- Cualquier exceso de carga sobre un conductor aislado se localiza enteramente sobre su superficie.
- El campo eléctrico precisamente afuera del conductor es perpendicular a su superficie y tiene una magnitud de $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$, donde σ es la carga por unidad de área en el punto.
- En un conductor de forma irregular, la carga tiende a acumularse donde el radio de curvatura de la superficie es más pequeño, es decir, donde termina en punta.

Tema 3 – Capítulo 25. Potencial Eléctrico

- Como la fuerza electrostática dada por la *ley de Coulomb* es conservativa, permite definir una cantidad escalar llamada **potencial eléctrico**. Debido a que el potencial es una función escalar de la posición, ofrece una manera más sencilla de describir los fenómenos electrostáticos que la que presenta el **Campo Eléctrico**.

- Cuando una carga de prueba positiva q_0 se mueve entre los puntos **A** y **B** en un campo electrostático **E**, el **cambio de la energía potencial** está dada por: $\Delta U = - \cdot q_0 \cdot \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$

- La **diferencia de potencial** ΔV entre los puntos **A** y **B** en un campo electrostático **E** se define como el cambio de energía potencial dividido por la carga de prueba q_0 :

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = - \cdot \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \quad \text{donde el potencial eléctrico } V \text{ es un escalar. Und. } \frac{J}{C} = \text{Voltios}$$

- La diferencia de potencial entre dos puntos **A** y **B** en un campo eléctrico *uniforme* **E** está dado por: $\Delta V = - \cdot \mathbf{E} \cdot d$ donde d es el desplazamiento en la dirección paralela a **E**.

- Anillo uniformemente cargado de radio a , a lo largo del eje del anillo a una distancia x de su centro:
$$V = k \cdot \frac{Q}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

- Disco uniformemente cargado de radio a , a lo largo del eje del disco a una distancia x de su centro:
$$V = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot \sigma \cdot \left[(x^2 + a^2)^{\frac{1}{2}} - x \right]$$

- Esfera *aislante* uniformemente cargada de radio **R** y carga total **Q**

$$r \geq R \quad V = k \cdot \frac{Q}{r} \quad r < R \quad V = \frac{k \cdot Q}{2 \cdot R} \left(3 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

- Esfera *conductora* aislada de carga total **Q** y radio **R**

$$r \leq R \quad V = k \cdot \frac{Q}{R} \quad r > R \quad V = k \cdot \frac{Q}{r}$$

- Las **Superficies equipotenciales** son superficies sobre las cuales el potencial eléctrico permanece constante. Las superficies equipotenciales son perpendiculares a las líneas del campo eléctrico.

- El potencial debido a una carga puntual q a una distancia r de la carga está dado por: $V = k \cdot \frac{q}{r}$

- El potencial debido a un grupo de cargas puntuales se obtiene sumando los potenciales debidos a cada carga individualmente.

- La **energía potencial de un par de cargas puntuales** separadas una distancia r_{12} está dada por: $U = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}}$ Ésta representa el trabajo requerido para traer las cargas desde una separación infinita hasta una separación r_{12} . La energía potencial de una distribución de cargas puntuales se obtiene sumando los términos obtenidos por la ecuación anterior para cada par de partículas.

- El **potencial eléctrico debido a una distribución continua de carga** está dado por: $V = k \cdot \int \frac{dq}{r}$

- **Potencial eléctrico:** $V_p = V_A + V_B \quad V_A = k \cdot \frac{q_A}{r_{AP}} \quad V_B = k \cdot \frac{q_B}{r_{BP}} \quad \text{Voltios}$

- **Energía:** $W = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r} \quad \text{Julios}$

Tema 4 – Capítulo 26. Capacitancia y Condensadores

- La **capacitancia** dada en un dispositivo depende de su geometría y del material que separa a los conductores, llamado dieléctrico. Un dieléctrico es un material aislante que tiene propiedades eléctricas distintivas, los cuales pueden comprenderse mejor considerando las propiedades de los átomos.
- Un *condensador* almacena carga y consta de dos conductores con cargas iguales y opuestas separadas una distancia muy pequeña comparada con sus dimensiones, con una diferencia de potencial V entre ellos. La **capacitancia** C de cualquier condensador, se define como la razón de la magnitud de la carga Q en cualquiera de los conductores y la magnitud de la diferencia de potencial V : $C \equiv \frac{Q}{V} = \frac{\text{Culombios}}{\text{Voltios}} = \text{Faradios}$

- La capacitancia depende del arreglo geométrico de los conductores. Las fórmulas siguientes se aplican cuando los conductores cargados están separados por vacío:

- Esfera cargada aislada de radio R $C = 4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot R$
- Condensador de placas paralelos de área A y separación de placas d $C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$
- Condensador cilíndrico de longitud l y radios interior y exterior a y b , respectivamente

$$C = \frac{l}{2 \cdot k \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

- Condensador esférico con radios interior y exterior a y b , respectivamente $C = \frac{a \cdot b}{k \cdot (b - a)}$

- Si dos o más condensadores se conectan en **paralelo**, la diferencia de potencial a través de cada uno de ellos debe ser la misma. La capacitancia equivalente de una combinación en paralelo está dada por: $C_{eq} \equiv C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$
- Si dos o más condensadores están conectados en **serie**, la carga en cada uno de ellos es la misma, y la capacitancia equivalente de la combinación en serie y la capacitancia equivalente de la combinación en serie está dada por: $\frac{1}{C_{eq}} \equiv \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$

- Se requiere trabajo para cargar un condensador, ya que el proceso de carga consiste en transferir carga desde un conductor que está a un potencial menor hasta otro conductor que está a un potencial mayor. El trabajo realizado al cargar un condensador hasta una carga Q es igual a la energía potencial electrostática U almacenada en el condensador, donde

$$U = \frac{Q^2}{2 \cdot C} = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot V = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$$

- Cuando un material dieléctrico se introduce entre las placas de un condensador, la capacitancia generalmente aumenta por un factor adimensional κ llamado **constante dieléctrica**. Esto es, $C = \kappa \cdot C_0$
Donde C_0 es la capacitancia en ausencia de dieléctrico. El aumento en la capacitancia se debe a la disminución del campo eléctrico en presencia del dieléctrico, lo cual corresponde a la disminución en la diferencia de potencial entre las placas —suponiendo que la batería de carga se elimina del circuito antes de introducir el dieléctrico—. La disminución de E proviene de un campo eléctrico interno producido por la alineación de los dipolos en el

dieléctrico. Este campo interno producido por los dipolos se opone al campo original aplicado, lo cual conduce a una reducción en el campo eléctrico neto.

- Un *dipolo eléctrico* consta de dos cargas iguales y opuestas separadas por una distancia $2 \cdot a$. El **momento dipolar eléctrico** \mathbf{p} de esta configuración tiene una magnitud

$$P \equiv 2 \cdot a \cdot q$$

- El **momento de una fuerza** que actúa sobre un dipolo eléctrico en un campo eléctrico uniforme E está dada por

$$\tau = P \times E$$

- La **energía potencial** de un dipolo eléctrico en un campo eléctrico externo uniforme E está dada por

$$U = -P \cdot E$$

Tema 5 – Capítulo 27. Corriente y Resistencia

- La corriente es la rapidez con la cual fluye la carga a través de un conductor, por lo que se mide en Amperios = Culombios / Segundos.

- La resistencia de un conductor uniforme se puede obtener mediante: $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$ donde ρ es la resistividad del conductor, L la longitud en m y A la superficie del conductor en m^2 .

$$V = R \cdot I$$

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

Tema 6 – Capítulo 28. Circuitos de Corriente Directa

- Una batería siempre contiene una resistencia interna, la cual hay que sumarla a la carga del circuito para realizar el cálculo de la corriente del mismo, o para obtener la tensión en bornes de la carga. Por ejemplo, si tenemos una batería conectada a una resistencia R , tenemos que: $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ $V_R = R \cdot I$ siendo \mathcal{E} la tensión de la batería y r la resistencia interna de la misma.

- Para una conexión serie de resistencias, la corriente es la misma en cada resistencia y la tensión depende de: $V_{R1} = R_1 \cdot I$ $V_{R2} = R_2 \cdot I$

- Para una conexión paralelo de resistencias, la corriente depende de: $I_{R1} = \frac{V}{R_1}$

$$I_{R2} = \frac{V}{R_2} \text{ y la tensión es la misma en cada resistencia.}$$

- Para calcular la resistencia equivalente a un circuito serie, se suma su valor, pero para un circuito paralelo: $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$ o también: $R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$. Si son iguales: $R_{eq} = \frac{R}{2}$

• Reglas de Kirchhoff:

1. La suma de corrientes que entren en una unión debe ser igual a la suma de corrientes que salen. $I_{Total} = I_1 + I_2$
2. La suma de los cambios de potencial a través de todos los elementos de cualquier trayectoria cerrada en el circuito debe ser cero.

- Si se recorre una resistencia en la dirección de la corriente $\rightarrow V_R = -I \cdot R$
- Si se recorre una resistencia en dirección opuesta de la corriente $\rightarrow V_R = I \cdot R$
- Si se recorre una fuente en la dirección de la *fem* $\rightarrow +\mathcal{E}$
- Si se recorre una fuente en dirección opuesta de la *fem* $\rightarrow -\mathcal{E}$

- Si un hay un condensador en un circuito, éste representa un circuito abierto, y por lo tanto no circula corriente ($I = 0$), aunque inicialmente el condensador está descargado y la corriente existe, pero en cuanto el condensador se carga, la corriente pasa a ser nula.

$Q = C \cdot \mathcal{E}$ Máxima carga de un condensador en un RC serie.

$$Q_T = C \cdot \mathcal{E} \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right) \text{ Carga de un condensador en función del tiempo.}$$

Multiplicar ambos lados por Ln y así anulamos la e y despejamos t .

Tema 7. Resolución de circuitos

- Las leyes fundamentales para la resolución de circuitos son la *ley de Ohm*, 1ª y 2ª de *Kirchhoff*.
- Las ecuaciones obtenidas aplicando la 1ª ley de Kirchhoff se llaman **ecuaciones nodales**.
- Las ecuaciones obtenidas aplicando la 2ª ley de Kirchhoff se llaman **ecuaciones circulares**.
- El **Teorema de Tellegen** establece que la suma de las potencias generadas y consumidas por los elementos de un circuito debe ser nula, siendo positivas las potencias consumidas en las cargas y negativas en las potencias generadas por las fuentes.
- El **principio de superposición** dice que si existe más de una fuente en un circuito, las magnitudes (V, I, P) serán igual a la suma de las magnitudes obtenidas en el circuito por separado, es decir, cortocircuitando las fuentes y dejando una, y luego al contrario.
- El **Teorema de Norton** establece que un circuito lineal de dos terminales puede substituirse por un circuito equivalente formado por una fuente de corriente independiente en paralelo con una resistencia. El valor de la fuente es el de la corriente de cortocircuito del circuito original, mientras que el valor de la resistencia es el de la resistencia interna o resistencia de salida del circuito a substituir.
- El **Teorema de Thevenin** establece que un circuito lineal de dos terminales puede substituirse por un circuito equivalente formado por una fuente independiente de tensión en serie con una resistencia. El valor de la fuente es el de la tensión a circuito abierto del circuito original, y el valor de la resistencia es el de la resistencia interna o resistencia de salida del circuito a substituir.
- El **Teorema de Millman** permite calcular la tensión entre dos nudos de un circuito. Se simplifica cada rama que une ambos nudos a una asociación serie de una fuente de tensión y una resistencia. La fuente de tensión puede no existir si la rama que une ambos nudos no contiene fuentes. Después, la tensión en ambos nudos será:

$$V_{A-B} = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_N}{R_N}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} + \frac{1}{R_K} + \dots + \frac{1}{R_M}}$$

R_1, R_2, \dots, R_N son las que están en serie con una fuente, y las R_K, \dots, R_M son las que no tienen.

Tema 8. Capítulo 29. Campos Magnéticos

- La **fuerza magnética** que actúa sobre una carga q moviéndose con una velocidad \mathbf{v} en un campo magnético externo \mathbf{B} está dada por: $\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$
Es decir, la fuerza magnética está en una dirección perpendicular tanto a la velocidad de la partícula como al campo. La magnitud de la fuerza magnética está dada por: $F = qvB \sin \theta$ donde θ es el ángulo entre \mathbf{v} y \mathbf{B} . De esta expresión, se ve que $\mathbf{F} = 0$ cuando \mathbf{v} es paralela (0°) u opuesta (180°) al campo \mathbf{B} . Además, $F = qvB$ cuando \mathbf{v} es perpendicular a \mathbf{B} .
- La unidad en el SI de \mathbf{B} es el *weber por metro cuadrado* (Wb/m^2), también llamado **tesla** (T), donde $[B] = T = \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$
- La fuerza sobre un conductor recto de longitud ℓ que lleva una corriente \mathbf{I} colocado en un campo magnético uniforme externo \mathbf{B} está dada por $\mathbf{F} = I \cdot \ell \times \mathbf{B}$ donde la dirección ℓ es en la dirección de la corriente y $|\ell| = \ell$.
- Si un alambre de forma arbitraria lleva una corriente I y se coloca en un campo magnético externo \mathbf{B} , la fuerza sobre un pequeño segmento $d\mathbf{s}$ está dada por: $d\mathbf{F} = I d\mathbf{s} \times \mathbf{B}$
Para determinar la fuerza total sobre el alambre, se integra la ecuación anterior, teniendo cuidado ya que \mathbf{B} y $d\mathbf{s}$ pueden variar en cada punto.
- La fuerza magnética neta sobre cualquier circuito cerrado que lleve una corriente en un campo magnético uniforme externo es cero.
- La fuerza sobre un conductor de forma arbitraria que lleve una corriente en un campo magnético uniforme está dada por: $\mathbf{F} = I \ell^1 \times \mathbf{B}$ donde ℓ^1 es el vector dirigido desde uno de los extremos del conductor hasta el extremo opuesto.
- El **momento magnético** $\boldsymbol{\mu}$ de una espira con una corriente \mathbf{I} es $\boldsymbol{\mu} = I\mathbf{A}$ donde \mathbf{A} es perpendicular al plano de la espira y $|\mathbf{A}|$ es igual al área de la espira. En el SI la unidad de $\boldsymbol{\mu}$ es $\text{A} \cdot \text{m}^2 = \text{J/T}$.
- El momento $\boldsymbol{\tau}$ sobre una espira de corriente cuando la espira se coloca en un campo magnético uniforme externo \mathbf{B} está dada por $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$. Unidad es el J
- Cuando una partícula cargada se mueve en un campo magnético externo, el trabajo realizado por la fuerza magnética sobre la partícula es cero ya que el desplazamiento siempre es *perpendicular* a la dirección de la fuerza magnética. El campo magnético externo puede alterar la dirección de la velocidad, pero no puede cambiar la rapidez de la partícula.
- Si una partícula se mueve en un campo magnético uniforme externo de tal manera que su velocidad inicial es *perpendicular* al campo, la partícula se moverá en un círculo cuyo plano es *perpendicular* al campo magnético. El radio r de la trayectoria circular está dado por $r = \frac{mv}{qB}$ donde m es la masa de la partícula y q es su carga. La frecuencia angular (frecuencia de ciclotrón) de la rotación de la partícula cargada está dada por $\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$
- Si la partícula cargada se mueve en presencia tanto del campo magnético como de un campo eléctrico, la fuerza total sobre la partícula está dada por la **fuerza de Lorentz**, $\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$
Esto es, la carga experimentará tanto la fuerza eléctrica $q\mathbf{E}$ como la fuerza magnética $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$.

Tema 9. Capítulo 30. Fuentes de Campo Magnético

- La **ley de Biot-Savart** dice que el campo magnético $d\mathbf{B}$ en un punto P debido a un elemento de corriente ds que lleva una corriente estable I es: $d\mathbf{B} = k_m \frac{I \cdot ds \times \hat{r}}{r^2}$ donde $k_m = 10^{-7} \text{ Wb} / \text{A} \cdot \text{m}$ y r es la distancia desde el elemento hasta el punto P . Para determinar el campo total en P debido a un conductor que lleva corriente, se debe integrar esta expresión vectorial sobre todo el conductor.
- El **campo magnético** a una distancia a de un alambre recto largo que lleva una corriente I está dado por: $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a}$ donde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb} / \text{A} \cdot \text{m}$ es la **permeabilidad del espacio libre**. Las líneas de campo son círculos concéntricos con el alambre. La fuerza por unidad de longitud entre dos alambres paralelos separados una distancia a que lleven corrientes I_1 e I_2 tiene una magnitud dada por $\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot a}$
- La fuerza es atractiva si las corrientes son en el mismo sentido y repulsiva si son en sentidos opuestos.
- La **ley de Ampère** dice que la integral de línea de $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ alrededor de cualquier trayectoria cerrada es igual $\mu_0 \cdot I$, donde I es la corriente total estacionaria que pasa a través de cualquier superficie limitada por la trayectoria cerrada. Es decir, $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \cdot I$
- Utilizando la ley de Ampère, se encuentra que los campos en el interior de un toroide y un solenoide están dados por: $B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$ $B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 \cdot n \cdot I$ donde N es el número total de vueltas.
- El **flujo magnético** Φ_m a través de una superficie está definido por la integral: $\Phi_m \equiv \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$
- La **ley de Gauss del magnetismo** establece que el flujo neto a través de cualquier superficie cerrada es cero. Esto es, no existen los polos magnéticos aislados (o monopolos).
- La **corriente de desplazamiento** I_d surge de la variación del flujo eléctrico en el tiempo, y está definida como: $I_d \equiv \epsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt}$
- La **forma generalizada de la ley de Ampère**, la cual incluye la corriente de desplazamiento, está dada por: $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \cdot I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt}$
La ley describe el hecho de que el campo magnético se produce tanto por la corriente de conducción como por el cambio del campo eléctrico.
- Las fuentes fundamentales de todos los campos magnéticos son los dipolos magnéticos asociados con los átomos. El momento dipolar atómico puede deberse tanto al movimiento orbital de los electrones como a la propiedad intrínseca del electrón llamada espín.
- Las propiedades magnéticas de las sustancias pueden ser descritas en términos de su respuesta a un campo externo. En este sentido, los materiales pueden describirse como

ferromagnéticos, paramagnéticos o diamagnéticos. Los átomos de los materiales **ferromagnéticos** y **paramagnéticos** tienen momentos magnéticos permanentes. Los materiales **diamagnéticos** constan de átomos con momentos magnéticos no permanentes.

- Cuando un material paramagnético o ferromagnético se coloca en un campo magnético externo, sus dipolos tienden a alinearse paralelamente al campo, y esta alineación se convierte en un aumento en el campo total. El aumento en el campo debido a materiales paramagnéticos es pequeño. Esto se debe a que los dipolos magnéticos en una sustancia paramagnética están orientados al azar en ausencia del campo. Los dipolos se alinean parcialmente en presencia de un campo aplicado.

- El estado magnético de una sustancia se describe mediante una cantidad llamada **vector de magnetización, \mathbf{M}** . La *magnitud del vector de magnetización es igual al momento magnético por unidad de volumen de una sustancia.* $B = B_0 + \mu_0 \cdot M$

Es conveniente introducir otra cantidad de campo **\mathbf{H}** , llamada **intensidad de campo magnético**. Esta cantidad vectorial se define por la relación $H = \frac{B}{\mu_0} - M$, o $B = \mu_0(H + M)$

donde en las unidades del SI, las dimensiones de **\mathbf{H}** y **\mathbf{M}** son A/m.

Tema 10. Capítulos 31 y 32. Ley de Faraday. Inductancia

- La **ley de inducción de Faraday** establece que la fem inducida en un circuito es directamente proporcional a la razón de variación del flujo magnético a través del circuito.

Esto es, $\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt}$ donde Φ_m es el flujo magnético, dado por $\Phi_m = \int B \cdot dA$

- Cuando una barra conductora de longitud ℓ se mueve a través de un campo magnético B con una velocidad v tal que B es perpendicular a la barra, la fem inducida en la barra (llamada **fem de movimiento**) está dada por: $\varepsilon = -B \cdot \ell \cdot v$
- La **Ley de Lenz** establece que la corriente inducida y la fem inducida en un conductor están en una dirección tal que se oponen al cambio que las produce.

- Una forma general de la **ley de inducción de Faraday** es: $\varepsilon = \oint E \cdot ds = -\frac{d\Phi_m}{dt}$ donde E es no conservativo, variable con el tiempo y que se produce por un flujo magnético variable.

- Fem inducida máxima en un generador de N vueltas cada una de área A . El circuito gira en un campo magnético B con una frecuencia f : $\varepsilon_{\max} = NAB\omega$ donde $\omega = 2\pi f$

- Corriente inducida máxima en un generador con una Fem inducida máxima ε_{\max} y una resistencia total del bobinado R : $I_{\max} = \frac{\varepsilon_{\max}}{R}$

- Cuando un motor arranca, no existe contra fem, pero a pleno rendimiento, existe una contra fem $\varepsilon_{\text{contra}}$ respecto a la fem que alimenta el motor, la cual debe tenerse en cuenta en los cálculos de la Corriente inducida en un motor: $I = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{\text{contra}}}{R}$

- Cuando se utiliza conjuntamente la ley de fuerza de Lorentz $F = qE + qv \times B$ y las **ecuaciones de Maxwell**, dadas a continuación en forma integral, quedan descritos todos los fenómenos electromagnéticos.

- Ley de Gauss (electricidad) $\oint E \cdot dA = \frac{Q}{\varepsilon_0}$

- Ley de Gauss (magnetismo) $\oint B \cdot dA = 0$

- Ley de Faraday $\oint E \cdot ds = -\frac{d\Phi_m}{dt}$

- Ley de Ampère-Maxwell $\oint B \cdot ds = \mu_0 I + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt}$

- Las dos últimas ecuaciones tienen particular importancia para los temas que se expusieron en este capítulo. La ley de Faraday describe de la forma en que puede inducirse un campo eléctrico mediante un flujo magnético variable. Similarmente, la ley de Ampère-Maxwell describe cómo un campo magnético puede ser producido mediante un flujo eléctrico variable y una corriente de conducción.

- Cuando la corriente en una bobina varía con el tiempo, se induce una fem en la bobina según a la ley de Faraday. La **fem autoinducida** se define por la expresión $\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$ donde **L** es la *inductancia* de la bobina. La inductancia es una medida de la oposición que presenta un dispositivo a los *cambios* en la corriente. La unidad de la inductancia en el SI es el **henry(H)**, donde $1\text{H} = 1\text{V} \cdot \text{s/A}$.
- La **inductancia** de *cualquier bobina*, como una solenoide o un toroide, se obtiene de la expresión $L = \frac{N\Phi_m}{I}$ donde Φ_m es el flujo magnético a través de la bobina y **N** es el número total de vueltas.
- La inductancia de un dispositivo depende de su geometría. Por ejemplo, la *inductancia de un solenoide* (con núcleo de aire), calculando con la ecuación anterior, está dado por $L = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell}$ donde **N** es el número de vueltas, **A** es el área de la sección transversal y ℓ es la longitud de la solenoide.
- Si una resistencia y un inductor se conectan en serie a una batería de fem ε y un interruptor en el circuito se cierra en $t = 0$, la corriente en el circuito varía en el tiempo según la expresión $I(t) = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$ donde $\tau = \frac{L}{R}$ es la constante de tiempo del circuito RL. Es decir, la corriente aumenta hasta un valor de equilibrio $\frac{\varepsilon}{R}$ después de un tiempo que es largo comparado con τ .
- Si se elimina la batería de un circuito RL y con un interruptor se cierra el circuito dejando la resistencia en serie con el inductor solos, la corriente decae exponencialmente con el tiempo según la expresión $I(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$ donde $\frac{\varepsilon}{R}$ es la corriente inicial del circuito.
- La **energía almacenada en el campo magnético de un inductor** que lleva una corriente **I** está dada por $U_m = \frac{1}{2} LI^2$ Este resultado se obtiene aplicando el principio de conservación de la energía al circuito RL.
- La **energía por unidad de volumen** (o la densidad de energía) en un punto donde el campo magnético es **B**, se obtiene con $u_m = \frac{B^2}{2\mu_0}$ Esto es, la densidad de energía es proporcional al cuadrado del campo magnético en el punto en cuestión.
- Si dos bobinas están cerca una de otra, una corriente variable en una de las bobinas puede inducir una fem en la otra. Si $\frac{dI_1}{dt}$ es la razón de cambio de la corriente en la primera bobina, la fem inducida en la segunda está dada por: $\varepsilon_2 = -M \frac{dI_1}{dt}$ donde **M** es una constante llamada **inductancia mutua** de una bobina respecto a la otra.

- Si Φ_{21} es el flujo magnético a través de la bobina 2 debido a la corriente I_1 de la bobina 1 y N_2 es el número de vueltas de la bobina 2, entonces la inductancia mutua de la bobina 2 se obtiene con $M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1} = \frac{N_2 BA}{I_1} = \mu_0 \frac{N_1 N_2 A}{\ell}$

- En un circuito LC con resistencia cero, la carga en el condensador y la corriente en el circuito varían en el tiempo según las expresiones:

$$Q = Q_m \cos(\omega t + \delta) \qquad I = \frac{dQ}{dt} = -\omega Q_m \sin(\omega t + \delta)$$

donde Q_m es la carga máxima en el condensador, δ es la constante de fase y ω es la frecuencia angular de oscilación, dada por $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

- La energía en un circuito LC es una transferencia continua entre la energía almacenada en el condensador y la energía almacenada en el inductor. La **energía total** de un circuito LC para cualquier tiempo t se obtiene con $U = U_c + U_L = \frac{Q_m^2}{2C} \cos^2 \omega t + \frac{LI_m^2}{2} \sin^2 \omega t$ donde I_m es la corriente máxima en el circuito. En $t = 0$, toda la energía está almacenada en el campo eléctrico del condensador $\left(U = \frac{Q_m^2}{2C} \right)$. Eventualmente, toda la energía se transfiere al inductor $\left(U = \frac{LI_m^2}{2} \right)$. Sin embargo, la energía *total* permanece constante, ya que se desprecia las pérdidas de energía en un circuito ideal LC.
- La carga y la corriente en un circuito RLC presentan un comportamiento armónico amortiguado para valores pequeños de R . Éste es el análogo del movimiento armónico amortiguado de un sistema masa-resorte en donde existe una fricción.

Tema 11. Fenómenos Transitorios

- Si en circuito posee almacenadores de energía (C o L), es probable que durante un cierto tiempo las magnitudes eléctricas sufran variaciones hasta permanecer invariables. Este intervalo antes de la estabilización se llama **régimen transitorio** y el restante **régimen permanente o estacionario**.
- A las C y L se les suele llamar **parásitas** porque a veces, en circuitos electrónicos se requiere de unos cambios entre regimenes (por ej. 0V y 5V), en los cuales interesa un cambio rápido y éstos son relativamente lentos, y no se puede prescindir de ellos.
- Un circuito constituido por una o varias R, fuentes independientes y un C o L, se llama **circuito lineal de primer orden**. Con ambos (C y L) = **circuito lineal de segundo orden**.
- Se llama “*Respuesta a entrada cero*” a la obtenida en un circuito donde no hay fuentes independientes, solo la carga inicial de sus almacenadores de energía (C o L)
- Al desconectar una fuente ($t = 0$) de un circuito RC, podemos obtener las magnitudes del circuito en función del tiempo y de los valores iniciales cuando $t = 0$:

$$u(t) = E e^{\frac{-t}{RC}} \text{ para } t \geq 0 \qquad i(t) = \frac{E}{R} e^{\frac{-t}{RC}} \text{ para } t \geq 0$$

donde si R viene en ohmios y C en faradios, la constante $\tau = RC$ serán segundos. Al transcurrir 3 o 4 veces la constante τ , el circuito tiende a su estado final (todo 0).

- La inversa de τ es: $\frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}$ llamada **frecuencia natural del circuito** se expresa en s^{-1} .
- Al desconectar una fuente ($t = 0$) de un circuito RL, podemos obtener las magnitudes del circuito en función del tiempo y de los valores iniciales cuando $t = 0$:

$$u(t) = -IR e^{\frac{-Rt}{L}} \text{ para } t \geq 0 \qquad i(t) = -I e^{\frac{-Rt}{L}} \text{ para } t \geq 0$$

- Cuando existan mas de una R en el circuito, se debe calcular la R_{eq} respecto de R o C.
 - Si es C, la constante de tiempo del circuito es $\tau = R_{eq} C$
 - Si es L, la constante de tiempo del circuito es $\tau = \frac{L}{R_{eq}}$
- Se llama “*Respuesta a estado inicial cero*” a la obtenida en un circuito en el que no hay ningún elemento cargado y donde actúan fuentes independientes a partir de $t = 0$.
- Al conectar una fuente ($t = 0$) de un circuito RC, obtenemos magnitudes variables en función del tiempo, ya que el C empieza a cargarse.

$$u(t) = RI \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}} \right) \text{ para } t \geq 0$$

- Al conectar una fuente ($t = 0$) de un circuito RL, obtenemos magnitudes variables en función del tiempo.

$$i(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} e^{\frac{-Rt}{L}} \text{ para } t \geq 0 \qquad u(t) = E e^{\frac{-Rt}{L}} \text{ para } t \geq 0$$

Tema 12. Circuitos Eléctricos: Régimen Estacionario Senoidal

- Un sistema de **corriente alterna** es aquel en el que los valores de V e I varían periódicamente a lo largo del tiempo según una expresión *senoidal*.
- Los **valores instantáneos** de una fuente de tensión y de la corriente que se origina al aplicar la misma a un cierto circuito eléctrico, vienen dados por:

$$u(t) = U_0 \operatorname{sen} \omega t \qquad i(t) = I_0 \operatorname{sen}(\omega t + \varphi)$$

Siendo U_0 e I_0 los **valores máximos o amplitudes**, de la tensión y la intensidad, Φ el **ángulo de fase o desfase** entre la tensión y la intensidad, y ω la pulsación del sistema, en radianes/s (rd/s). La cual a veces hay que calcular mediante: $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$

- Siempre trabajaremos con **valores eficaces** de las magnitudes salvo que digan lo contrario.
- Se entiende como **Valor de Pico** al máximo valor de una señal senoidal y **valor de pico a pico**, es el valor de máximo a mínimo, es decir, dos veces el valor de pico.
- La **impedancia** es la relación entre los valores instantáneos de la tensión e intensidad: $Z = \frac{U}{I} = R + jX$ R (resistencia) es la parte real de Z , y X (reactancia) la parte imaginaria. Su unidad es el ohmio (Ω). La forman las resistencias, autoinductancias y condensadores.
- La **admitancia** es la inversa de la impedancia: $Y = \frac{1}{Z} = G + jB$ Su unidad es el Ω^{-1} . La parte real de Y , es G y se denomina **conductancia** y la parte imaginaria, B , **susceptancia**.
- En una R la I y la V están en fase. Disipa energía. $Z_R = R \angle 0$
- En una L la I está retrasada 90° con la V . Almacena o cede energía. $Z_L = \omega L \angle \frac{\pi}{2}$
- En un C la I está adelantada 90° con la V . Almacena y cede energía. $Z_C = \frac{1}{\omega C} \angle -\frac{\pi}{2}$
- Una impedancia cualquiera $Z = R + jX$ se dice que tiene carácter inductivo si la parte imaginaria es positiva y capacitivo si es negativa.
- En un circuito **RL serie** con una fuente de tensión alterna senoidal se tiene que:
 - La corriente es la misma en todos los elementos.
 - La suma de las tensiones en cada elemento es igual a la suministrada por la fuente.
 - $U_R = R \cdot I$ $U_L = jX_L \cdot I$
 - $\frac{U}{I} = Z = R + X_L$
- En un circuito **RC serie** con una fuente de tensión alterna senoidal se tiene que:
 - La corriente es la misma en todos los elementos.
 - La suma de las tensiones en cada elemento es igual a la suministrada por la fuente.
 - $U_R = R \cdot I$ $U_C = -jX_C \cdot I$
 - $\frac{U}{I} = Z = R - X_C$

- En un circuito **RLC serie** con una fuente de tensión alterna senoidal se tiene que:
 - La corriente es la misma en todos los elementos.
 - La suma de las tensiones en cada elemento puede ser mayor a la de la fuente.
 - $U_R = R \cdot I$ $U_L = jX_L \cdot I$ $U_C = -jX_C \cdot I$
 - $\frac{U}{I} = Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$
 - Ahora el desfase φ entre la tensión aplicada y la corriente será: $\varphi = \arctg\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right)$
- En un circuito **RL paralelo** con una fuente de tensión alterna senoidal se tiene que:
 - La tensión es la misma en todos los elementos.
 - La suma de las corrientes en cada elemento es igual a la suministrada por la fuente.
 - $I_R = \frac{U}{R}$ $I_L = \frac{U}{jX_L}$
 - $\frac{U}{I} = Z = \frac{U}{I_R + I_L} = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L}\right)^{-1}$ $Y = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L}$
- En un circuito **RC paralelo** con una fuente de tensión alterna senoidal se tiene que:
 - La tensión es la misma en todos los elementos.
 - La suma de las corrientes en cada elemento es igual a la suministrada por la fuente.
 - $I_R = \frac{U}{R}$ $I_C = \frac{U}{-jX_C}$
 - $\frac{U}{I} = Z = \frac{U}{I_R + I_C} = \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{jX_C}\right)^{-1}$ $Y = \frac{1}{R} - \frac{1}{jX_C}$
- En un circuito **RLC paralelo** con una fuente de tensión alterna senoidal se tiene que:
 - La tensión es la misma en todos los elementos.
 - La suma de las corrientes en cada elemento es igual a la suministrada por la fuente.
 - $I_R = \frac{U}{R}$ $I_L = \frac{U}{jX_L}$ $I_C = \frac{U}{-jX_C}$
 - $\frac{U}{I} = Z = \frac{U}{I_R + I_L + I_C} = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L} - \frac{1}{jX_C}\right)^{-1}$ $Y = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L} - \frac{1}{jX_C}$
- La **potencia instantánea** se define como el valor que en cada instante toma el productivo $V \cdot I$
- La **potencia activa, P**, es el valor medio de la potencia instantánea $P = U \cdot I \cos \varphi = \text{Vatios (W)}$
- La **potencia reactiva, Q**, es el valor máximo de la potencia instantánea $Q = U \cdot I \sin \varphi = \text{VAr}$
- Si llamamos **potencia compleja** al producto de la V por el conjugado de la I , resulta:
 $S = U \cdot I^* = U \cdot I \cos \varphi + jU \cdot I \sin \varphi = P + jQ$ La parte real es la **potencia activa, P**, y la parte imaginaria la **potencia reactiva, Q**. Su módulo es la **potencia aparente S**:
 $S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$ y su unidad es el **voltiamperio (VA)**.
- La resistencia consume potencia activa, $P_R = I^2 \cdot R$ y no consume potencia reactiva $Q_R = 0$

- La bobina no consume potencia activa, $P_L = 0$ solo consume potencia reactiva $Q_L = I^2 \omega L$
- El condensador no consume potencia activa, $P_C = 0$ solo consume potencia reactiva $Q_C = -U^2 \omega C$
- El $\cos \varphi$ se denomina **factor de potencia (f.d.p.)** o literalmente “coseno de fi”. Va entre 0 y 1. Cuando es distinto de 1 es necesario especificar si el fdp es **inductivo**(+X), o **capacitivo**(-X).

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z}$$
 Es muy importante que el fdp se acerque a 1 (comportamiento como la R), de hecho en instalaciones eléctricas se suele compensar instalando un C en paralelo con la carga para subir este fdp . Este C viene dado por: $Q_L = U^2 \omega C$
- Las técnicas de resolución de circuitos son las mismas que los circuitos de corriente continua con la gran diferencia de que las operaciones serán vectoriales en vez de escalares.
 - Primera $\sum I_K = 0$ y segunda $\sum U_J = 0$ leyes de Kirchhoff
 - Ley de Ohm vista en puntos anteriores
 - Teorema de Thevenin: Un circuito con varios elementos se puede sustituir por uno equivalente formado por la asociación serie de una fuente de tensión alterna y una impedancia. Los métodos de cálculo son similares a los de corriente continua.
 - Teorema de Norton: La fuente de corriente es ahora alterna y el elemento pasivo paralelo es una impedancia.

Tema 13. Capítulo 11 Librito. Semiconductores. Diodos.

- Desde el punto de vista para conducir corriente, los sólidos pueden ser:
 - **Metales:** con elevada conductividad se emplean para circuitos integrados, impresos y cables de conexión...
 - **Aislantes:** con una bajísima conductividad (R elevada) para soportes mecánicos neutros y elementos de separación eléctrica.
 - **Semiconductores:** presentan propiedades intermedias y se han revelado como elementos ideales para la fabricación de componentes activos sólidos.
- Los semiconductores más empleados son el silicio, el germanio y el galio. Inicialmente fue el germanio el más usado y hoy lo es el silicio.
- Los semiconductores usuales (Si, Ge, Ga) son tetravalentes, tienen 4 electrones de valencia para efectuar enlaces interatómicos. Si se les añade átomos de Fósforo (por ej.) que tiene 5 electrones, al efectuar los enlaces, quedará un electrón libre. A estos se les llama *tipo N* y los átomos pentavalentes se llaman *impurezas donadoras*. Si se les añade átomos de Aluminio, de 3 electrones, quedará un hueco libre y serán de *tipo P* los átomos trivalentes se llaman *impurezas aceptadoras*.
- Si un cristal semiconductor se dopa con impurezas *tipo P* por un lado y con *tipo N* por otro, obtenemos el **diodo de unión PN**. Permite la conducción eléctrica en sentido $P \rightarrow N$ y la dificulta en sentido $N \rightarrow P$.
- Se llama **potencial de unión V_0** a la diferencia de potencial entre ambos lados de la zona de transición que engloba la unión P y N.
- Si se aplica una tensión externa del mismo sentido que el potencial de unión, se dice que el diodo se ha *polarizado inversamente*. La intensidad resultante se llama **corriente de saturación inversa, I_S** , es muy pequeña con tensiones dentro del margen de un diodo, pero si se aplica una tensión inversa superior a **tensión inversa de ruptura** para la cual está preparado físicamente el diodo, puede destruirse por el calentamiento en la zona de unión donde comienza la **ruptura o avalancha**. A partir de esa tensión, la intensidad aumenta.
- Si se aplica una tensión externa de sentido contrario a la del potencial de unión, se dice que el diodo se ha *polarizado directamente*. En estas condiciones el diodo apenas ofrece resistencia al paso de la **corriente directa** y ésta debe ser limitada externamente por medio de una resistencia (por ej.). Prácticamente, el diodo sólo opone a la corriente directa una caída en la unión de pocas décimas de voltio y una R baja debida al cristal y sus contactos.
- La relación entre la tensión aplicada entre las zonas de unión U_D y la intensidad I_D es:

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{U_D}{\eta V_T}} - 1 \right) \text{ donde } V_T = 25\text{mV para } 300^\circ\text{K y } \eta \text{ depende del semiconductor empleado}$$
 y vale 2 para el Silicio.
- Con polarización inversa, el diodo se comporta por tanto, como una fuente de intensidad $-I_S$ que, además depende de la temperatura, en el Silicio, I_S se duplica cada 10°C de aumento.
- Con polarización directa y superados unos 0,6V, el diodo de Silicio equivale a una pila de 0,6V y una R de bajo valor en serie. Para un diodo de 1A nominal, es del orden de $0,2\Omega$.
- En la práctica, un diodo de silicio inversamente polarizado puede suponerse un circuito abierto. Un diodo directamente polarizado, si está aplicado en circuitos que manejan más de 10V, puede suponerse como un cortocircuito.

- En un diodo, el paso de la situación de polarización inversa, o **corte**, a la de polarización directa, o **conducción**, no es instantáneo.
- El **diodo tener** se ha diseñado para que el efecto de ruptura por avalancha se produzca a baja tensión (entre 3 y 25V). En conducción directa y en bloqueo, se comporta como un diodo normal, salvo que la V de umbral de conducción es de 1V para el Silicio, en lugar de 0,7V. Pero en la polarización inversa, el circuito equivalente es una pila de tensión V_Z y una pequeña resistencia en serie R_Z . Se usa para realizar estabilizadores y limitadores de tensión.
- Otro diodo especial es el **fotoemisor**. Con el intercambio de electrones se libera energía térmica y fotones, pero en los Silicio y Germanio, la luz emitida es insignificante, pero empleando fosforo de Galio o fosforo arseniuro de Galio, la energía luminosa emitida en forma de fotones es apreciable y pueden construirse diodos prácticos emisores de luz. El mecanismo de producción de fotones se llama electroluminiscencia. Dependiendo del semiconductor empleado se puede variar el color de la luz. Presenta caída de tensión ($\pm 2,5V$) en conducción elevada, una tensión inversa máxima permisible muy baja (unos 5V) y una corriente de saturación inversa relativamente elevada.

Tema 14. Capítulo 12 Librito. Transistores

- Existen dos tipos de transistores:
 - **BJT**: transistor de unión bipolar: dos uniones p-n. Dependiendo del material semiconductor común de las uniones, se puede dividir en PNP y NPN.
 - **FET**: transistor de efecto de campo. Se distinguen en:
 - **JFET** (de unión) que a su vez puede dividirse en componentes con canal n (**JFET** canal n y **NMOS**) o canal p (**JFET** canal p y **PMOS**).
 - **MOSFET** (metal-óxido semiconductor). Tienen la ventaja de ser de fabricación más simple y ocupa menos espacio que los bipolares, y además pueden ser usados como resistencias o condensadores. También pueden dividirse en canal n y canal p. Además también existe otra división MOSFET de depleción (circula corriente entre fuente y drenaje sin aplicar tensión a puerta) y MOSFET de acumulación que necesita de tensión en terminal puerta.
- En los transistores **BJT**, las tres zonas de material semiconductor se denominan *zona de emisor (E)*, *zona de colector (C)* y *zona de base (B)*. Por el emisor entra un flujo de portadores que circulando a través de la base, alcanza en su mayor parte el colector.
- En transistores **FET**, los terminales se denominan *fuentes (F o S)*, *drenaje (D)* y *puerta (G o P)*
- En un **JFET**, al aplicar una tensión entre drenaje y fuente, el flujo de portadores que penetra por fuente, llega en su totalidad al drenaje.
- Si un **JFET** canal n se polarizara directamente la unión pn formada por puerta y fuente, la corriente resultante entraría por el primer Terminal, de ahí el sentido de la flecha.
- Las componentes continuas se designarán con letras mayúsculas y subíndice en mayúsculas. Ej. I_B , U_{DF} , etc...
- Los valores instantáneos de las componentes alternas, mediante letra y subíndice en minúsculas. Ej. i_c , u_{ce} , etc...
- Los valores instantáneos totales de las magnitudes, mediante letras minúsculas y subíndices en mayúsculas. Ej. i_B , u_{PF} , etc...

$$i_B = I_B + i_b$$

$$i_C = I_C + i_c$$

$$u_{CE} = U_{CE} + u_{ce}$$

- En los terminales de salida de un transistor se comporta como un interruptor cuyo estado (abierto o cerrado) depende de la señal aplicada en los terminales de entrada.
- También se puede mostrar el funcionamiento como amplificador a través del mismo circuito, sin más que suponer que la tensión de entrada es: $u_E = U_E + u_e \sin(\omega t)$. Si $u_e = 0$ la recta de carga responde a la ecuación $u_S = U_{CC} - R_L I_S$
- El análisis de un circuito con transistores se puede realizar con el **modelo de gran señal**, válido para transistores bipolares de emisor común y MOSFET con fuente común:
 - **Corte**: circuito abierto a la salida y la entrada. $U_{EB} < 0,7V$ pnp o $U_{BE} < 0,7V$ npn.
 - **Activa**: fuente de corriente de valor βI_B a la salida y una fuente de tensión continua de 0,7V a la entrada. $U_{BC} > -0,7V$ pnp, $U_{CB} > -0,7V$ npn
 - **Saturación**: cortocircuito a la salida y fuente de tensión continua de 0,7V a la entrada.
 - **Intensidad constante**: fuente de intensidad de valor $g(U_{PF} - U_T)$ en la salida y circuito abierto en la entrada.
 - **Resistencia**: resistencia R_{eq} a la salida, de valor inversamente proporcional a la tensión de control y circuito abierto a la entrada.