TEMA 1. FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

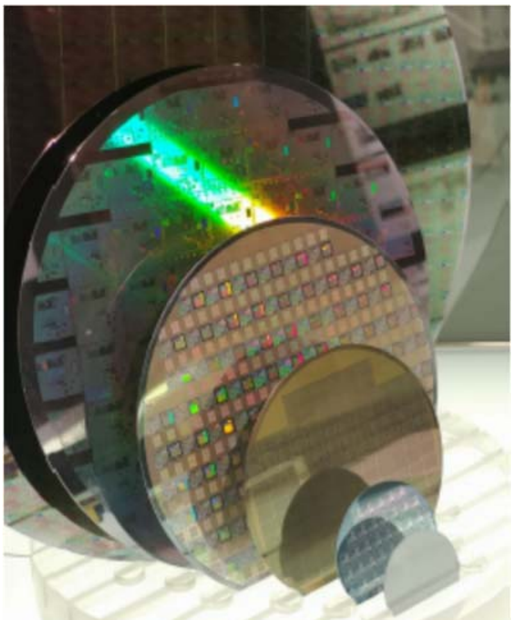


Imagen: T. González
(Área de Electrónica, Univ. Salamanca)

Ref.: R. Rengel, Fundamentos Físicos de la Informática, 2020

TEMA 1. ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

- Conceptos generales
- Circuitos de corriente continua y alterna
- Campo electromagnético

1. CARGA ELÉCTRICA

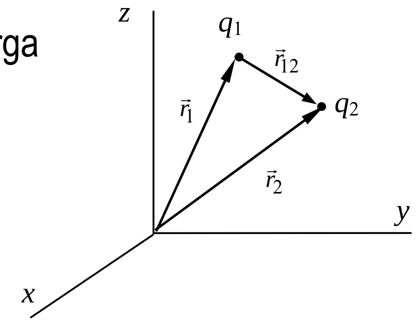
Propiedad física fundamental de la materia (propia de ciertas partículas elementales) responsable en último término de las interacciones electromagnéticas.

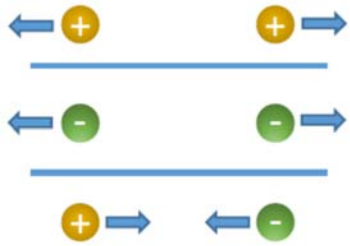
- Naturaleza dual de la carga eléctrica
- Modelo atómico. Unidad de carga elemental ↔ cuantización de la carga eléctrica)

  $e \approx 1.6 \times 10^{-19}$ C

- Ley de conservación de la carga
- Ley de Coulomb

  $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ $N^{-1}m^{-2}C^2$

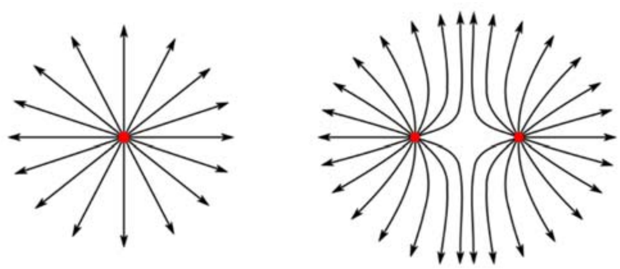




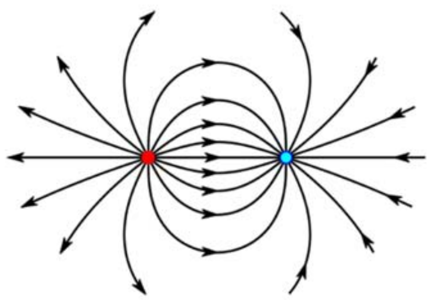
2. CAMPO ELÉCTRICO

- Acción del campo eléctrico sobre las cargas.
- Faraday: representación de la fuerza que ejercería la carga que crea el campo sobre una carga de valor 1 C en los diferentes puntos del espacio → líneas de campo

$$\vec{F} = q\vec{E}$$



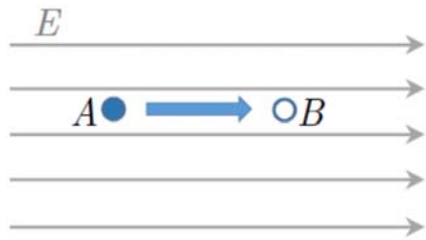
- Dipolo eléctrico: carga positiva separada a una cierta distancia fija de una carga negativa de igual magnitud



3. POTENCIAL

El campo eléctrico es un campo conservativo, es decir, el trabajo total realizado por este campo sobre una partícula que realiza un desplazamiento en una trayectoria cerrada es nulo.

Bajo un campo eléctrico, el trabajo realizado para trasladar una partícula desde un punto A hasta un punto B es



$$dW = \vec{F}d\vec{l}$$

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$W_A^B = \int_A^B \vec{F}d\vec{l} = q\int_A^B \vec{E}d\vec{l}$$

El campo realiza este trabajo a costa de perder energía potencial *U*, que es:

$$W_A^B = -\Delta U_A^B$$

El potencial eléctrico *V* es la energía potencial por unidad de carga eléctrica, que es una magnitud escalar, continuo en todos los puntos del espacio y medido en voltios (1 V= 1 J /C)

$$V = \frac{U}{q} \rightarrow V_A - V_B = \int_A^B \vec{E}d\vec{l} = E \cdot l$$

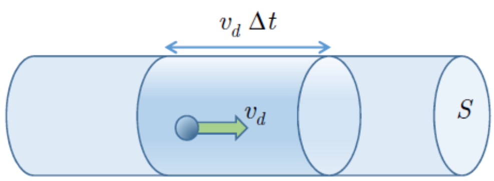
Trayectoria en "línea recta"
Suponemos $\vec{E}$ homogéneo

4. CORRIENTE

Cantidad de carga eléctrica que atraviesa una sección transversal por la unidad de tiempo. Es positiva en el sentido de las cargas positivas por convenio.

Se mide en amperios (1 A = 1 C /s)

- En un cable: movimiento de electrones con E ≠0: en promedio, v ≠0



Velocidad de deriva: v_d

Concentración o densidad de carga: $S\, v_d\, \Delta t$

$$\boxed{\Delta Q = qnSv_d\Delta t \Rightarrow \Rightarrow I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = qnSv_d}$$

Densidad de corriente

$|\vec{J}| = \frac{I}{S}$; S: superficie

5. LEY DE OHM

Materiales conductores o aislantes

MATERIALES CONDUCTORES

Resistencia: cociente entre la diferencia de potencial en la dirección de la corriente y la intensidad de la corriente que circula. Se mide en ohmios (1 Ω = 1 V /A)

$$R = \frac{V_{AB}}{I} \rightarrow Ley\ de\ Ohm$$

Resistividad: magnitud que no depende de factores geométricos (como es la *R*). Se mide en Ω·m

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad \sigma = \frac{1}{\rho}$$

Conductividad: inverso de la resistividad

Ley de Ohm (forma vectorial): $\boxed{\vec{J} = \sigma \vec{E}}$

5. LEY DE OHM

Determinación de la ley de Ohm en su forma vectorial: $V = I \cdot R$

$$\left.\begin{array}{l} V = |\vec{E}| \cdot \ell \\ |\vec{J}| = \frac{I}{A} ;\ A = \text{área} \\ R = \rho \frac{\ell}{A} \end{array}\right\}$$

$\sigma = 1/\rho$

$$|\vec{E}| \cdot \cancel{\ell} = |\vec{J}| \cdot \cancel{A} \cdot \rho \frac{\cancel{\ell}}{\cancel{A}}$$

$$\Downarrow$$

$$|\vec{E}| = \rho |\vec{J}|$$

$$|\vec{J}| = |\vec{E}| \cdot \sigma$$

Misma dirección y sentido.

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

Ley de Ohm (forma vectorial): $\boxed{\vec{J} = \sigma \vec{E}}$

6. POTENCIA DISIPADA

Potencia suministrada por efecto Joule

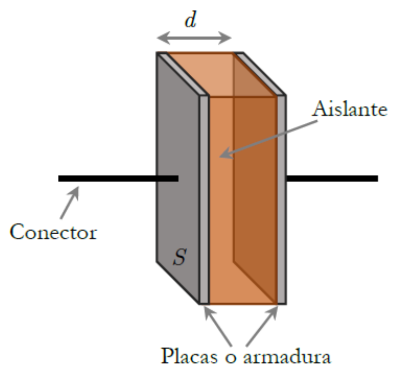
Potencia: cantidad de trabajo suministrado por unidad de tiempo.

$$P = \frac{W_A^B}{\Delta t} = \frac{W_A^B \Delta Q}{\Delta Q \Delta t} = V_{AB} \cdot I$$

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

Se mide en vatios (1 w = 1 J /s = 1 V·A)

7. CONDENSADORES



Capacidad: relación entre la carga que almacena el condensador y la diferencia de potencial entre sus placas:

$\boxed{C = Q / \Delta V}$

Ej: condensador de placas plano-paralelas

$C = \varepsilon S / d$ Ley de Gauss $\Rightarrow \vec{E} \cdot S = \frac{Q}{\varepsilon}$; ε = permitividad dieléctrica

$\Downarrow$

Se mide en faradios (1 F = 1 C /V) $C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{E \cdot \ell} = \varepsilon \cdot \frac{S}{\ell}$

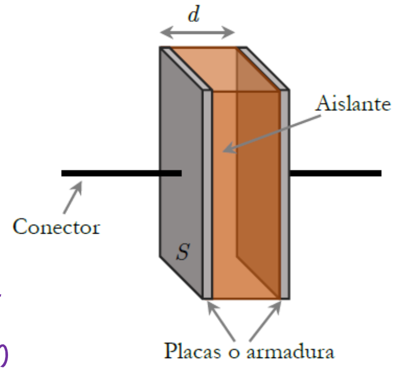
Energía electrostática almacenada: la mitad del trabajo que hemos realizar en el traslado de las cargas:

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

7. CONDENSADORES

Energía electrostática almacenada:

$C = Q/\Delta V$



Deducción a partir de: $dU = Vdq$

du = pequeña energía potencial debida a dq

dq : carga pequeña que vamos almacenando en la placa

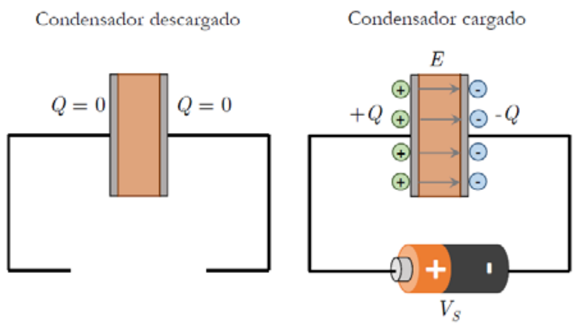
$\int du = \int V dq \;;\; u = \int \frac{q}{C} dq = \frac{1}{C} q^2/2 = \frac{V \cdot Q}{2}$

La mitad del trabajo realizado "se gasta" en el calentamiento del circuito debido al efecto Joule

7. CONDENSADORES

Proceso de carga de un condensador:

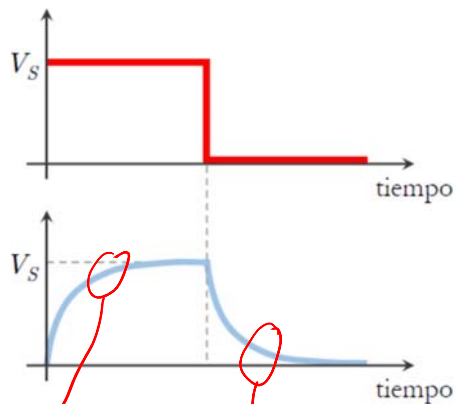
$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{dCV_C}{dt} = C\frac{dV_C}{dt} \quad \text{con} \quad C = \frac{Q}{\Delta V}$$



Constante de tiempo τ = RC

Durante el transitorio de la carga de un condensador:

$$V_C = V_S(1 - e^{-t/\tau})$$



carga del condensador

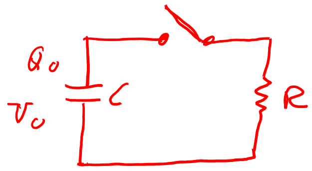
descarga del condensador

Consideraciones: filtrado de señales rectificadas y retardo en circuitos digitales

7. CONDENSADORES

Proceso de descarga de un condensador:

$\tau = R \cdot C$



Inicialmente: Q_0, V_0, $C = Q_0/V_0$

En $t=0$ cerramos el circuito y se empieza a descargar el condensador, la carga inicial conlleva una corriente inicial I_0. Queremos saber $V_c(t)$.

$I(t) = \dfrac{-dQ(t)}{dt}$ El signo (menos) se debe a que la I disminuye con t.

ley de mallas: $\dfrac{Q}{C} = \boxed{V_c = V_R} = I \cdot R$

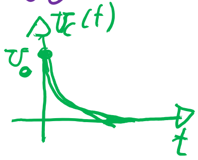
$$\frac{Q}{C} = I(t) \cdot R; \quad \frac{Q}{C} = -R \cdot \frac{dQ(t)}{dt}; \quad \int_0^t \frac{-1}{R \cdot C}\, dt = \int_{Q_0}^{Q(t)} \frac{dQ(t)}{Q};$$

$$\frac{-1}{RC}\, t \Big]_0^t = \ln(Q)\Big|_{Q_0}^{Q(t)}; \quad \ln[Q(t)] - \ln Q_0 = \frac{-t}{RC};$$

$$\ln\left(\frac{Q(t)}{Q_0}\right) = \frac{-t}{RC}; \quad Q(t) = Q_0 \exp\left(\frac{-t}{RC}\right) = Q_0 e^{-t/\tau}$$

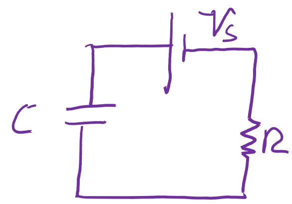
$$I(t) = \frac{-d}{dt}[Q_0 \exp(-t/\tau)] = \frac{Q_0}{RC} e^{-t/\tau} = I_0 e^{-t/\tau}$$

Luego $\boxed{V_c(t) = V_R} = R \cdot I(t) = R \cdot I_0 e^{-t/\tau} = \boxed{V_0 e^{-t/\tau}}$



7. CONDENSADORES

Proceso de carga de un condensador:



V_S: constante

$I_0 = V_S/R$ en $t=0$

Inicialmente: $Q_0 = 0$; $V_0 = 0$

En $t=0$ aplicamos un voltaje V_S; la corriente inicial es I_0 en $t=0$.

ley de mallas: $V_S = V_c + V_R$; $V_S = \dfrac{Q(t)}{C} + I(t) \cdot R$

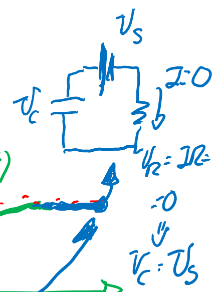
Derivamos en t: $\underbrace{\dfrac{dV_S}{dt}}_{=0} = \dfrac{1}{C} \underbrace{\dfrac{dQ(t)}{dt}}_{=I(t)} + R \dfrac{dI(t)}{dt}$; $0 = \dfrac{1}{C} I(t) + R \dfrac{dI(t)}{dt}$

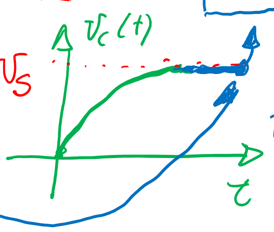
Luego: $-\dfrac{1}{RC}\, dt = \dfrac{dI(t)}{I(t)}$; $-\displaystyle\int_0^t \frac{1}{RC}\, dt = \int_{I_0}^{I(t)} \frac{dI(t)}{I(t)}$;

$$\frac{-t}{RC} = \ln\left(\frac{I(t)}{I_0}\right); \quad I(t) = I_0 \cdot \exp(-t/RC) = I_0 e^{-t/\tau}$$

$$\boxed{V_c(t) =} V_S - V_R = V_S - I(t) \cdot R = V_S - I_0 e^{-t/\tau} R =$$

$$= V_S - V_S/\cancel{R}\, e^{-t/\tau} \cdot \cancel{R} = \boxed{V_S(1 - e^{-t/\tau})}$$

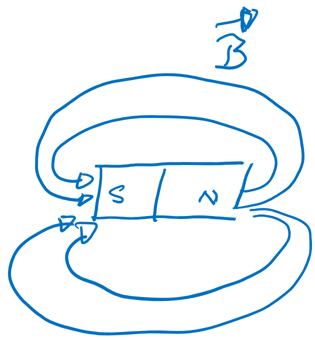




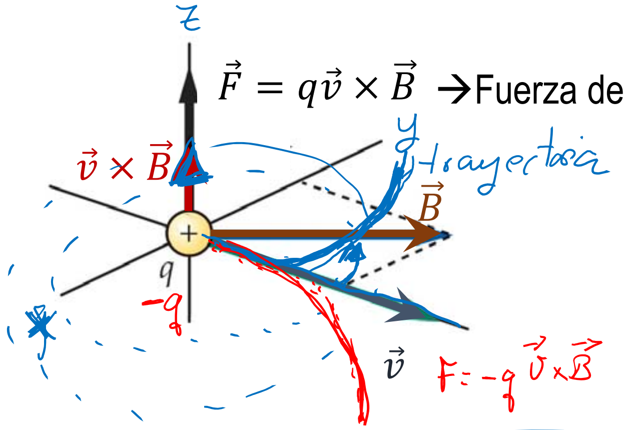
8. CAMPO MAGNÉTICO

El campo magnético se mide en Teslas (1 T = 1 N /C / (m/s) = 1 N /A /m)

como es muy grande, se suele emplear el Gauss (1 G = 10^{-4} T)



$\vec{B}$: campo magnético



$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ →Fuerza de Lorenz

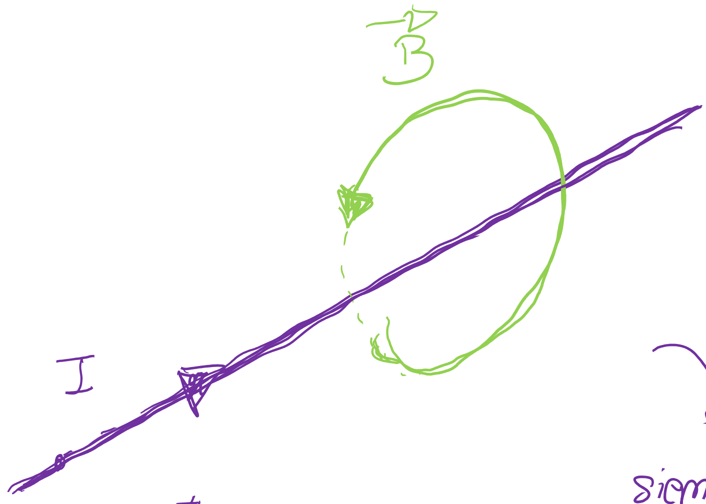
$\vec{F}_{eléctrico} = q \cdot \vec{E}$ → $\vec{E}$ añade aceleración a una carga

producto vectorial

$\vec{F}_{magnético} = q\,(\vec{v} \times \vec{B})$ → $\vec{B}$ desvía la carga de su trayectoria

8. CAMPO MAGNÉTICO

Ley de Ampére:

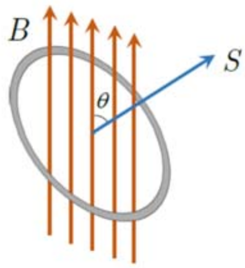


siempre hay $\vec{B}$ cuando hay I

$\frac{d\vec{E}}{dt} \Rightarrow \vec{B}$

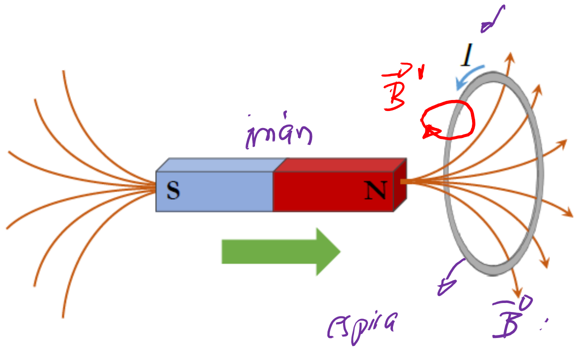
9. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Generación de una diferencia de potencial V en un conductor en presencia de un flujo de campo magnético variable. → en el tiempo



Flujo de campo magnético: $\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BScos(\theta)$

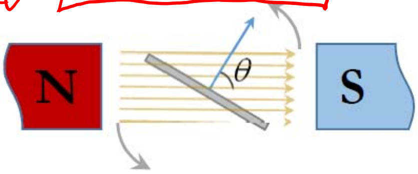
Ley de Faraday: Inducción electromagnética



$$V = -\frac{d\phi}{dt}$$

$\frac{d\vec{B}}{dt} \Rightarrow I, \vec{B}'$ (ampère) se opone a las variaciones de $\vec{B}(t)$

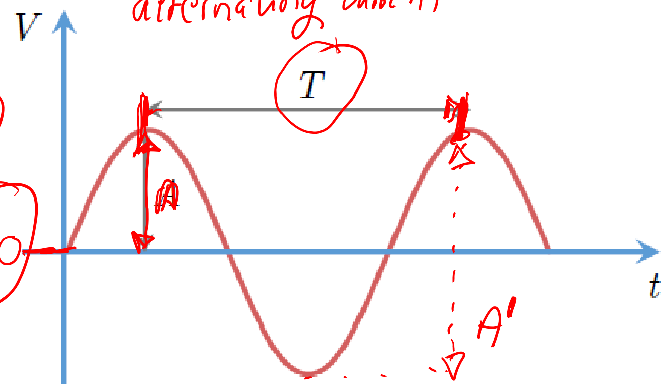
Generación de energía eléctrica: $\boxed{V = A\sin(\omega t)}$ → señales AC



10. CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA VS. ALTERNA

Circuitos de corriente continua (CC) ↔ corriente y voltaje constantes en el tiempo DC (direct current)

Circuitos de corriente alterna (AC) ↔ presencia de una fuente de voltaje oscilante alternating current



A sen(ωt)

V=0

ω: frecuencia angular

T: periodo de la señal

A: amplitud de la señal

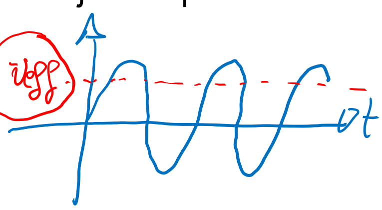
A': amplitud de pico a pico en la señal

B = A · sen(ωt)

Valor eficaz: las señales en un circuito AC oscilan entre valores positivos y negativos → el valor eficaz de un voltaje AC se corresponde con el valor de un voltaje DC que proporcionase la misma potencia

Peff: Veff · Ieff

$$V_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V^2(t)dt}$$



11. BOBINAS*

Bobina de autoinducción L: dispositivo pasivo de dos terminales que permite almacenar energía en un campo magnético. Suele ser una espira de hilo conductor enrollada alrededor de aire o un núcleo de ferrita.

La autoinducción se mide en Henrios (1 H = 1 Ω /s)

En circuitos AC se usan para bloquear corrientes alternas a una cierta frecuencia.

$$V_L = L\frac{dI}{dt}$$

Impedancia : $X_L = j\omega L$

$j = \sqrt{-1}$

$\omega \uparrow \rightarrow X_L \uparrow \Rightarrow X_L \rightarrow \infty$

$\omega \downarrow \rightarrow X_L \downarrow \Rightarrow X_L \sim 0$

Cambia la amplitud y la fase

* No veremos circuitos de corriente alterna con bobinas, basta con saber que la impedancia es jωL y la intervención de la bobina con la señal de entrada es "la contraria" a la del condensador

11. CIRCUITOS AC CON CONDENSADORES

Ley de Ohm

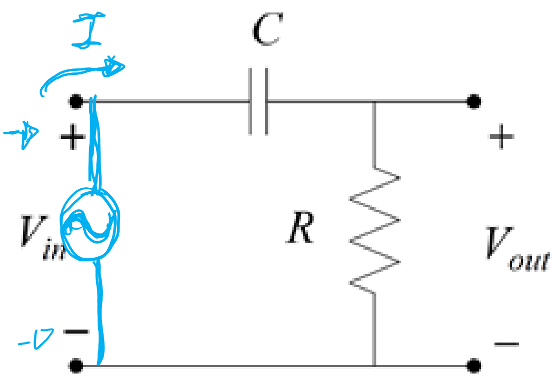
$V = I \cdot R$

$j = \sqrt{-1}$

Circuitos de corriente alterna (AC) + Condensador:

Impedancia del condensador: $X_C = 1 / j\omega C$

Es decir, en un circuito como el de la figura, la impedancia total es $\boxed{Z = R + X_C = R + 1 / j\omega C}$



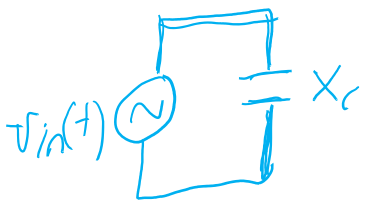
$X_c = \frac{1}{j\omega C} \propto \frac{1}{\omega}$

Si ω es muy grande → $X_C \rightarrow 0$ y la señal "solo ve" la señal de entrada, como si no hubiera condensador: $V_{out} = V_{in}$ ≈ circuito cerrado

Si ω es muy pequeña → $X_C \rightarrow \infty$ y la señal hace que se acumulen cargas en el condensador → $V_{out} = 0$ ≈ circuito abierto

11. CIRCUITOS AC CON CONDENSADORES

Circuitos de corriente alterna (AC) + Condensador:



Ley de mallas: $V_{in}(t) = V_c(t)$

Definición de capacidad: $C = Q(t) / V_c(t)$

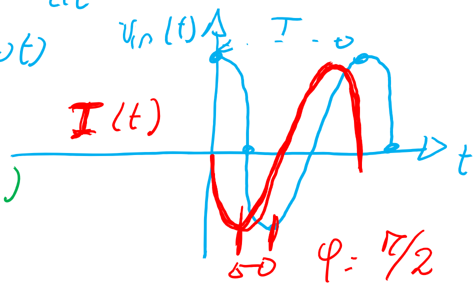
Definición de corriente: $I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = C \cdot \frac{dV_c(t)}{dt}$

Supongamos: $V_{in}(t) = A \cdot \cos(\omega t) = V_c(t) \Rightarrow$

$I(t) = C \cdot \frac{d}{dt}(A \cdot \cos(\omega t)) = C \cdot A \cdot [-\mathrm{sen}(\omega t)] \cdot \omega =$

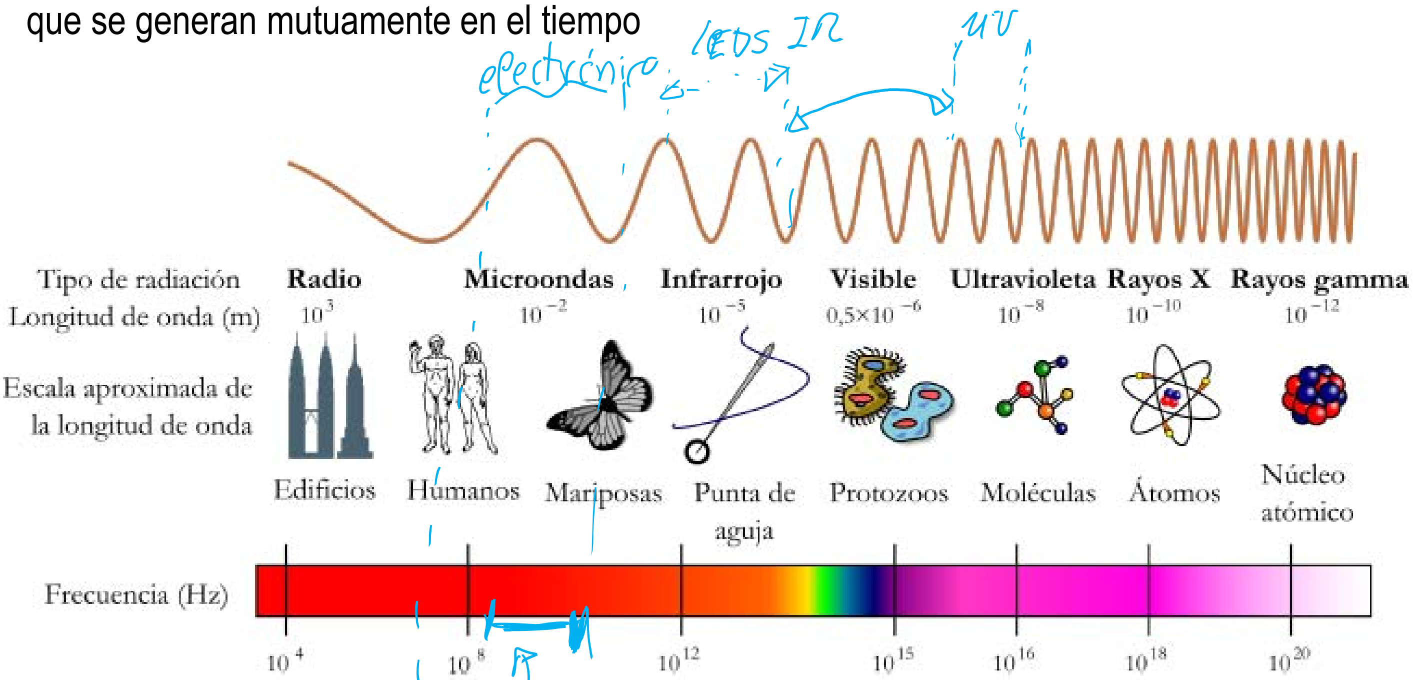
$= \underbrace{-A \cdot \omega \cdot C} \cdot \mathrm{sen}(\omega t)$

$= \underbrace{A \cdot \omega \cdot C} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$



11. CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

Espectro electromagnético: ondas electromagnéticas = campos eléctricos y magnéticos que se generan mutuamente en el tiempo



c = velocidad de la luz

$\lambda \cdot f = c$

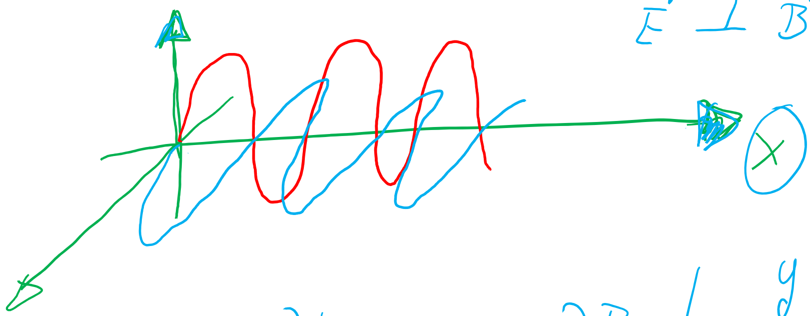
Fotones = partículas sin masa con energía $h \cdot f$, h: constante de Planck, f: frecuencia

Ejemplo: wifi ≈ 2.4 GHz (λ = 12.5 cm)

11. CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

Onda en el espacio: definición de longitud de onda:

$\vec{E} \perp \vec{B}$

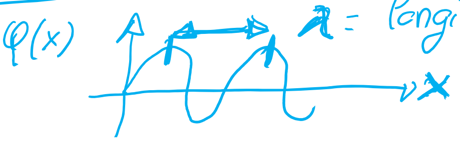


$$\frac{\partial E}{\partial t} \Rightarrow \frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} \Rightarrow \frac{\partial E}{\partial t}$$

y la dirección de propagación es perpendicular a ambas

y puede existir en el vacío



λ = longitud de onda