



uc3m

| Universidad Carlos III de Madrid

# UC3M

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

## Principios Físicos de la Informática

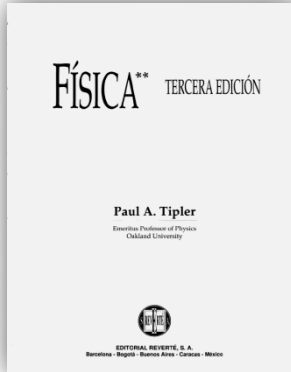
# Principios Físicos de la Informática

- Tema 1. Herramientas matemáticas básicas
- Tema 2. Corriente continua. Componentes básicos de un circuito de cc.
- Tema 3. Resolución de circuitos de corriente continua
- Tema 4. Técnicas y herramientas de análisis y simplificación de circuitos
- Tema 5. Inducción electromagnética. Ley de Faraday
- **Tema 6. Corriente variables en el tiempo. Corriente alterna.**
- Tema 7. Resolución de circuitos de corriente alterna

## Tema 6. Corriente variables en el tiempo: ct. alterna

- 6.1. Corrientes variables en el tiempo.
- 6.2. Corriente continua: inductancia como elemento de un circuito. Circuitos RL.
- 6.3. Corriente continua: carga y descarga de un condensador en un circuito RC.
- 6.4. Generadores de corriente alterna.

## Bibliografía: tema 6



- **Corrientes variables en el tiempo. Carga y descarga de un condensador en un circuito RC.**

Tipler/Mosca. *Física para la Ciencia y la Tecnología*, vol. 2. Capítulo 25 (Sexta edición) tema 25.6 págs. 868 y ss.; Capítulo 23 (Tercera edición) tema 23.2 pág. 760

- **Inductancia como elemento de un circuito. Circuitos RL.**

Tipler/Mosca. *Física para la Ciencia y la Tecnología*, vol. 2. Capítulo 28 (Sexta edición) Inducción magnética, págs. 977 y ss.; Capítulo 26 (Tercera edición) Inducción magnética, pág. 857

- **Generadores de corriente alterna.**

Tipler/Mosca. *Física para la Ciencia y la Tecnología*, vol. 2. Capítulo 28 y 29 (Sexta edición) tema 28.4 y 29.1, pp. 972-973 y 995 y ss; Capítulo 26 (Tercera edición) tema 26.6

- **Corriente alterna en una resistencia. Frecuencia y fase. Potencia. Valores eficaces.**

Tipler/Mosca. *Física para la Ciencia y la Tecnología*, vol. 2. Capítulo 29 (Sexta edición) tema 29.1; Capítulo 28 (Tercera edición) tema 28.1

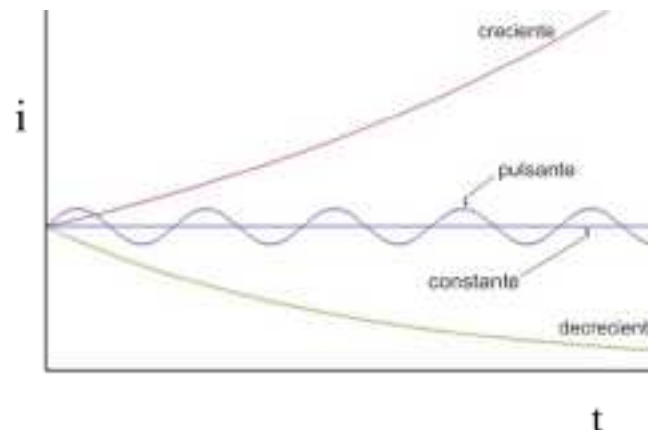


## 6. Corriente variables en el tiempo

### 6.1. Corrientes variables en el tiempo

**Corriente eléctrica:** Transporte de carga eléctrica en un conductor

- **Corriente continua:** Dirección no cambia de sentido, están conectadas a un generador
  - Constante: Cuando el flujo es constante
  - Variable con el Tiempo: El flujo no es constante
    - Creciente o decreciente
- **Corriente alterna:** Dirección cambia periódicamente de sentido



## 6.1. Corrientes variables en el tiempo

### Corrientes en régimen permanente con corriente constante

- **Aplican cambios en condiciones (componentes que interaccionan)**
  - **Transitorios en corriente contantes**
    - **Condiciones variables**
    - **Depende de la energía de los campos electicos y magnéticos**
  - **Régimen permanente de funcionamiento. Se alcanzan las condiciones de estabilidad**

#### Circuito tiene:

- **Componentes activos (pilas generadores) que suministran energía eléctrica**
- **Componentes pasivos (resistencias, bobinas, condensadores) que almacenan disipan energía**

## 6. Corriente variables en el tiempo

### 6.1. Corrientes variables en el tiempo

**Los transitorios son importantes por:**

- Puede desearse **conocer la respuesta eléctrica** en función del tiempo.
- También interesa **conocer el tiempo que ha de transcurrir antes de que una corriente o una tensión se estabilice**
- Puede ser **interesante conocer los posibles efectos, destructivos originados por tensiones o corrientes** anormalmente elevadas durante el período transitorio, así como los medios para evitarlos.

**Una vez superados**

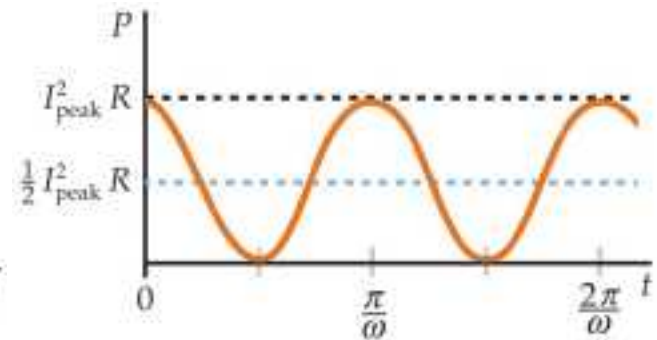
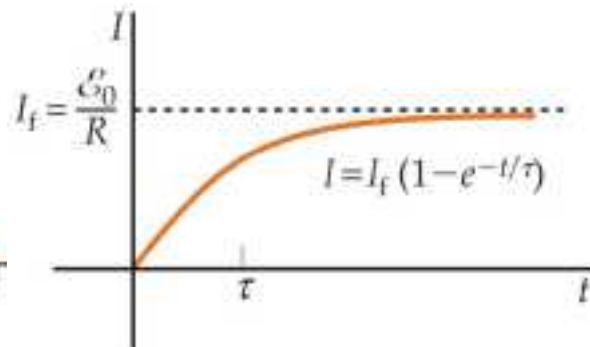
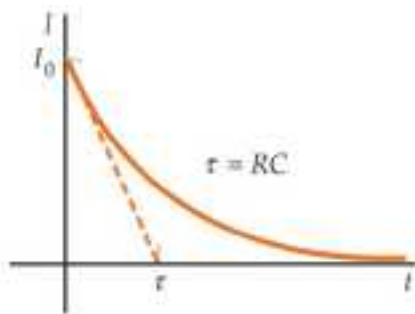
- Régimen Permanente
  - Conducta estacionaria
- ❑ Elementos pasivos que producen alteraciones son:
  - Interruptores
  - Condensadores
  - Bobinas

## 6. Corriente variables en el tiempo

## 6.1. Corrientes variables en el tiempo

## Resumiendo:

- **Corriente continua:** aunque la corriente circula en un solo sentido, la intensidad puede variar con el tiempo.
  - Circuitos RC (resistencia + capacidad): carga y descarga de condensadores.
  - Circuitos RL (resistencia + inducción): Inductancias.
- **Corriente alterna** en una resistencia: frecuencia y fase





## 6.2. Inductancia como elemento de un circuito

### Las bobinas producen inductancia (autoinducción en un circuito)

- Son capaces de almacenar energía
- Asociado con el valor de **L (coeficiente de autoinducción)**, la bobina presenta también una **resistencia** debido a que está realizada por un conductor arrollado sobre un núcleo que puede ser o no de material ferromagnético
- a **determinadas frecuencias**, puede aparecer un **efecto de capacidad entre espiras**
- En un **circuito equivalente** a una bobina real, **la capacidad estaría en paralelo** con la **resistencia y la autoinducción** (estando estas dos últimas en serie)

$$L = \frac{\phi_m}{I} = \mu_0 n^2 A l$$

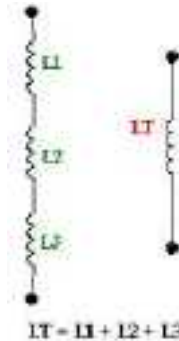


## 6. Corriente variables en el tiempo

## 6.3. Inductancia como elemento de un circuito

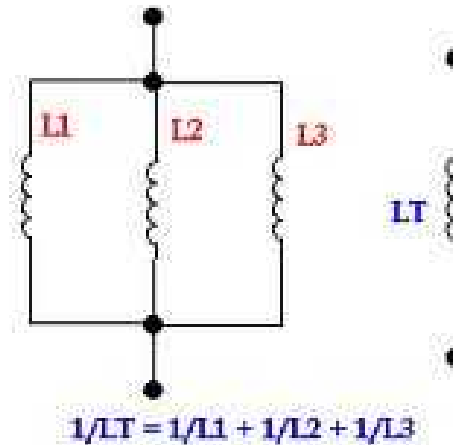
- La asociación en serie obtiene una bobina equivalente de inducción suma

$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_N = \sum_{i=1}^N L_i$$



- Asociación en paralela la inversa del equivalente es la suma de las inversas

$$1/L = 1/L_1 + 1/L_2 + \dots + 1/L_N = \sum_{i=1}^N 1/L_i$$



## 6.2. Energía almacenada en un inductor

- **Energía magnética:** un inductor almacena energía magnética, del mismo modo que un condensador almacena energía eléctrica.

Para producir corriente eléctrica hay que realizar trabajo

$$|\varepsilon| = L \frac{dI}{dt}, \quad \text{luego } |\varepsilon| \cdot I \text{ (dimensión de potencia)} = \frac{dU_m}{dt}$$

de donde  $dU_m = L \cdot I \cdot dI$  y por tanto, integrando  $U_m = \int LI dI = \frac{1}{2} LI^2$

La energía almacenada en un inductor es

(se mide en Julios)

$$U_m = \frac{1}{2} LI^2$$

## 6.4. Energía almacenada por un inductor

- ✓ Cuando un circuito, recorrido por una corriente, crea un campo magnético se dice que almacena energía magnética en dicho campo.
- ✓ Se puede demostrar que la energía magnética almacenada es igual a

$$U_m = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} I \phi$$

Observa que...

El solenoide desempeña el mismo papel en el campo magnético que los condensadores en el campo eléctrico. Ambos dispositivos se utilizan para crear un campo uniforme en su interior, en la que queda almacenada cierta **cantidad de energía**.

**¿Qué pasa con la energía magnética de un solenoide al desconectarle de la fuente que suministra la corriente?**

$$u_m = \frac{B^2}{2\mu_o} \left( \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right)$$

## 6. Corriente variables en el tiempo

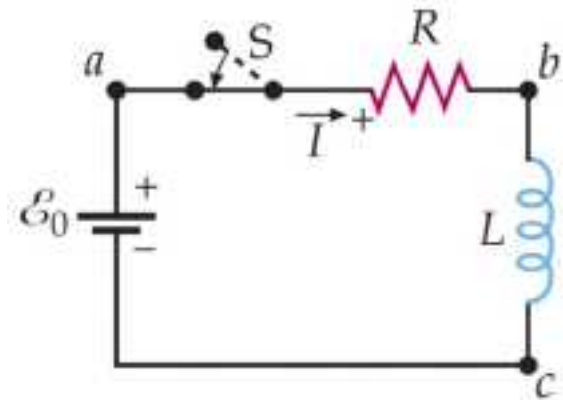
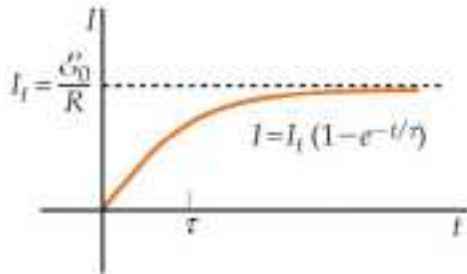
## 6.2. Circuitos RL

Un circuito que contiene una resistencia y un inductor se denomina circuito RL. En él se cumple, como hemos visto:

$$\varepsilon_0 = IR + L \frac{dI}{dt}$$

- Inicialmente, justo antes de cerrar el circuito, la corriente es nula:  $IR=0$
- Si no hubiera inductancia (que siempre hay), al cerrar el circuito  $I_f = \varepsilon_0/R$
- Como hay inductancia,  $I_f$  es el valor final al que tiende, y la función se calcula igual que la de los condensadores, separando variables e integrando :
- Se genera en el inductor una fem de módulo  $LdI/dt$ .
- La caída de potencial a través de la resistencia  $IR$ , más la caída de potencial a través del inductor  $L \cdot dI/dt$  es igual a la fem de

$$I(t) = \varepsilon_0/R (1 - e^{-(R/L)t}) = I_f (1 - e^{-t/\tau})$$





## 6.2. Circuitos RL: Cierre del circuito

- En el cierre del circuito:

Al cerrar el interruptor, este empieza a ser recorrido por una intensidad de corriente  $i(t)$  que va aumentando progresivamente, induciéndose una fem  $\varepsilon_L$  autoinducida

Cuando  $t \rightarrow \infty \Rightarrow I_o \rightarrow \varepsilon / R$  (corriente estacionaria). En la práctica, bastará un tiempo lo suficientemente grande para alcanzar, aproximadamente, el valor de la intensidad de corriente estacionaria  $I_o \approx \varepsilon / R$ .

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

Cuando  $t \rightarrow \infty \Rightarrow I_o \rightarrow \varepsilon / R$  (corriente estacionaria). En la práctica, bastará un tiempo lo suficientemente grande para alcanzar, aproximadamente, el valor de la intensidad de corriente estacionaria  $I_o \approx \varepsilon / R$ .

## 6.2. Circuitos RL

### ¿Explicación cualitativa del proceso?

- ✓ Cuando se cierra el circuito la corriente no crece bruscamente, sino de forma gradual.
- ✓ Ello es debido a que al cerrar el interruptor la corriente aumenta desde cero hasta un valor máximo.
- ✓ El campo magnético que genera dicha corriente produce un flujo variable, por lo que se produce una corriente autoinducida (extracorrente de cierre) que según la ley de Lenz debe oponerse a la causa que la produce: un aumento de intensidad hasta un valor máximo.

**En circuito RL, el tiempo que tarda en alcanzarse la corriente estacionaria, ¿aumente o disminuye con la fem que lo alimenta?**

## 6. Corriente variables en el tiempo

## 6.2. Circuitos RL: Apertura del circuito

**Abriendo el circuito**  $\varepsilon = 0$ , y aplicando la ley de Ohm

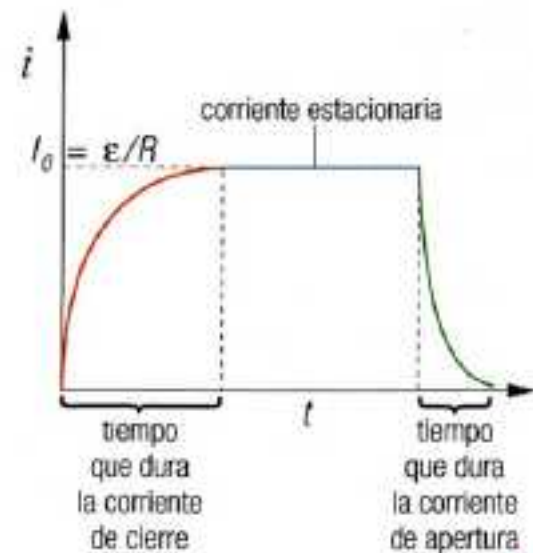
**luego :**  $\varepsilon_L = R i(t) \Rightarrow -L \frac{di(t)}{dt} = R i(t);$

**Integrando esta anterior suponiendo que**  $i(0) \approx \frac{\varepsilon}{R}$



$$i(t) = I_o e^{-\frac{R}{L}t}$$

Se define la constante de tiempo del circuito  $\tau$  como el cociente entre su inductancia y su resistencia  $\tau = L / R$ . Cuanto menor sea la constante de tiempo del circuito menor será el tiempo empleado en alcanzar la corriente estacionaria.



Corrientes de cierre y apertura.



## 6.2. Circuitos RL: Apertura del circuito

### ¿Explicación cualitativa del proceso?

- ✓ Al abrir el circuito la corriente cae bruscamente a cero.
- ✓ Como la corriente del circuito disminuye, se produce una corriente autoinducida (extracorriente de cierre) que se opone a dicha disminución según la ley de Lenz su sentido es el mismo sentido que la corriente del circuito: tiende a reforzar
- ✓ La corriente circulará durante un brevísimo tiempo, almacenándose los electrones en los extremos del interruptor hasta originar una diferencia de potencial tan elevada, que se produce la ruptura dieléctrica del aire, dando lugar a una chispa que será tanto más acusada cuanto mayor sea la inductancia del circuito .
- ✓ Esta extracorriente puede ocasionar deterioros en los circuitos provistos de gran autoinducción y poca resistencia. ¿Por qué?

## 6. Corriente variables en el tiempo

### 6.2. Circuitos RL: Apertura del circuito

#### Observa que...

Para evitar los efectos de la extracorrente de cierre, los interruptores llevan un resorte que aleja rápidamente los extremos en cuanto se produce el corte.

Otro medio consiste en poner un condensador en paralelo con el interruptor, con lo que se impide que la diferencia de potencial entre los extremos del corte adquiera valores excesivos.

Al cabo de un tiempo igual a  $4\tau$  o  $5\tau$ , aproximadamente, el circuito alcanza la corriente final ( $i \approx I_o$  o  $i \approx 0$ ).

#### ¿Para qué sirven las extracorrientes de apertura?

- Explican las chispas que se producen al desenchufar cualquier electrodoméstico, tanto mayores cuanto mayor es la inductancia de los mismos.
- Permiten llevar a cabo, a través de carretes de Ruhmkorff, el encendido de los tubos fluorescentes.

generan en la bobina de encendido de los vehículos de gasolina, produciendo un voltaje de 10 000 V en los electrodos de un bujía, produciendo la chispa que inflama la mezcla de aire y gasolina en el carburador.

#### ¿Por qué no salta la chispa al cerrar un circuito RL?

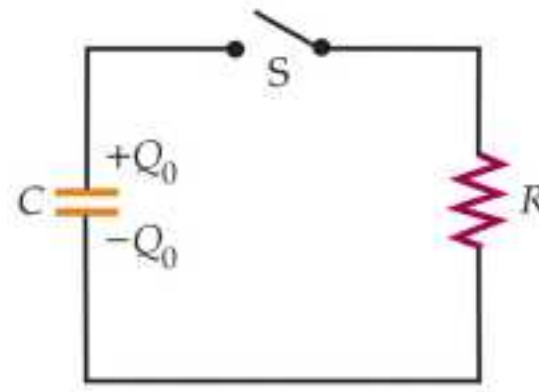
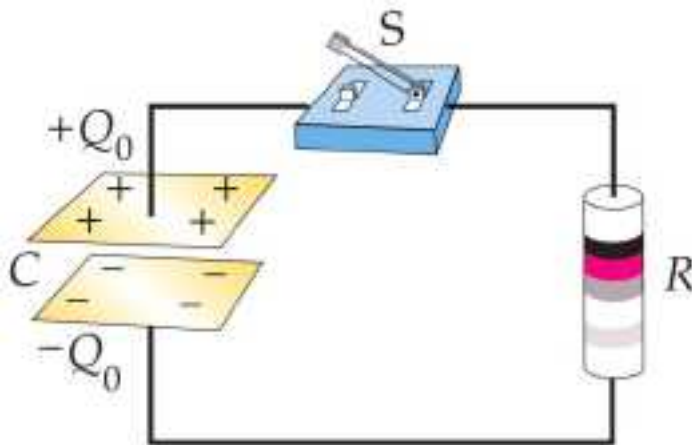
¿Por qué al desconectar un electrodoméstico, a igualdad de tensión, es también más grande la chispa cuanto mayor es el consumo del mismo?



## 6. Corriente variables en el tiempo

## 6.3. Circuitos RC

- Un circuito RC es aquel en que intervienen una resistencia y una capacidad.
- Aunque la corriente circula en un solo sentido (es corriente continua), la intensidad varía con el tiempo.
- Un ejemplo sería un flash de una cámara de fotos:
  - Antes de sacar la foto la batería carga un condensador a través de una resistencia, quedando el condensador cargado y preparado.
  - Al sacar la foto, el condensador se descarga a través de la cámara del flash.
  - Poco tiempo después vuelve a estar cargado y preparado.



## 6.3. Circuitos RC

- Recordemos:
- Condensador componente pasivo capaz de almacenar energía**
- Capacidad depende del material**

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

- La carga almacenada depende de la ddp**

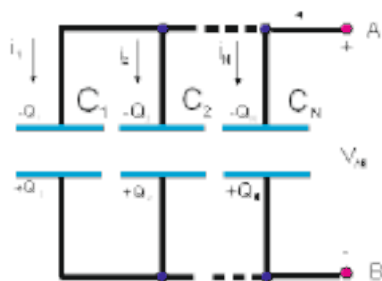
$$C = \frac{Q}{v}$$

- En serie la capacidad equivalente**



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N} = \sum_{i=0}^N \frac{1}{C_i}$$

- En paralelo la capacidad equivalente**

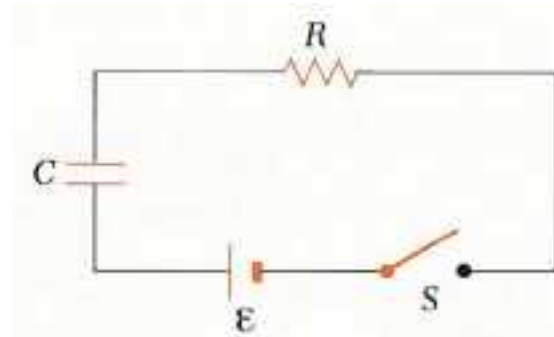


$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_N = \sum_{i=0}^N C_i$$

## 6. Corriente variables en el tiempo

## 6.3. Circuitos RC: Al cierre carga

- Considérese el circuito de la figura, en el que hay un condensador de capacidad  $C$ , completamente descargado, conectado en serie con un generador y una resistencia  $R$ . En el instante  $t=0$  se cierra el interruptor



- Se establece una corriente desde una placa del condensador al generador y de éste a la otra placa del condensador, hasta que éste se carga, pero sin que la corriente pase por el condensador, ya que el circuito está abierto en él.
- El valor de la carga máxima depende de la fem del generador, y una vez que alcanza dicha carga máxima, la corriente en el circuito se anula.

La fem en el circuito se expresa:

$$\mathcal{E} = V_R + V_C = R i + \frac{q}{C}$$

donde  $q$  e  $i(t)$  son los valores instantáneos (en el tiempo  $t$ ) de la carga (en el condensador) y la intensidad (en el circuito) conforme se está cargando el condensador

## 6. Corriente variables en el tiempo

## 6.3. Circuitos RC. Carga de un condensador

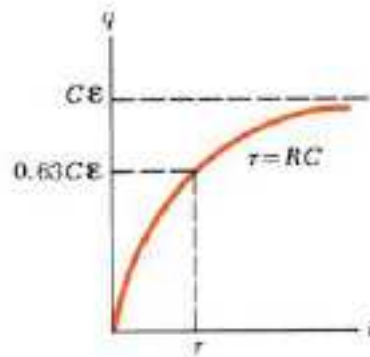
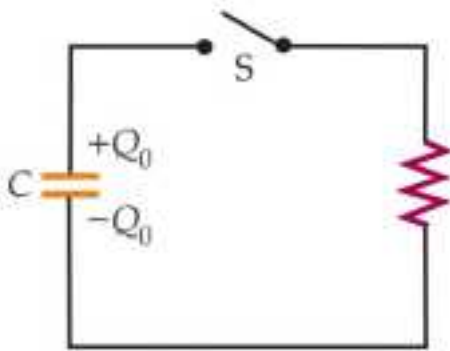
- **carga de un condensador:** dado que  $I_0 = dQ/dt$  y que  $I_0 = V_0/R = Q_0/RC$   
 $I = dQ/dt$ , teniendo en cuenta q  $\varepsilon = R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C}$

$$q(t) = C\varepsilon \left(1 - e^{-t/RC}\right) = Q \left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

Resulta ser una función exponencial sencilla  $Q(t) = Q_0 e^{-t/(RC)} = Q_0 e^{-t/\tau}$

Siendo  $\tau$  la **constante de tiempo**: es el tiempo durante el cual la carga disminuye hasta 1/e de su valor original y vale  $\tau = R \cdot C$

También se deduce ya que  $I = dQ/dt$  que  $I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$



- El valor de la carga máxima depende de la fem del generador, y una vez que alcanza dicha carga máxima, la corriente en el circuito se anula.

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC}$$

## 6. Corriente variables en el tiempo

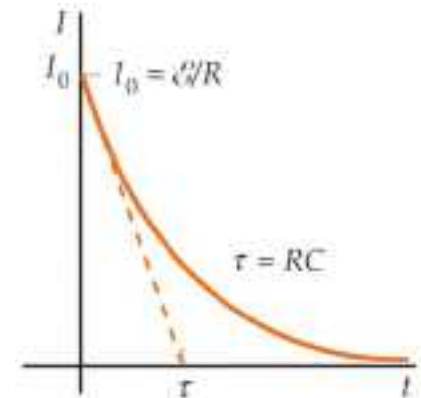
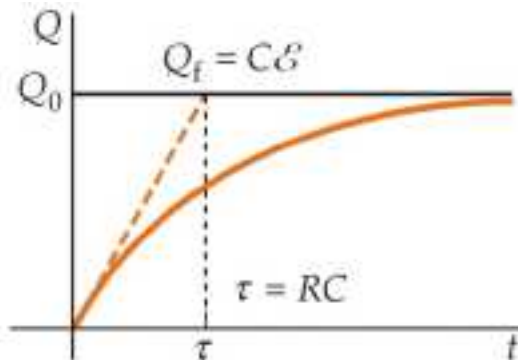
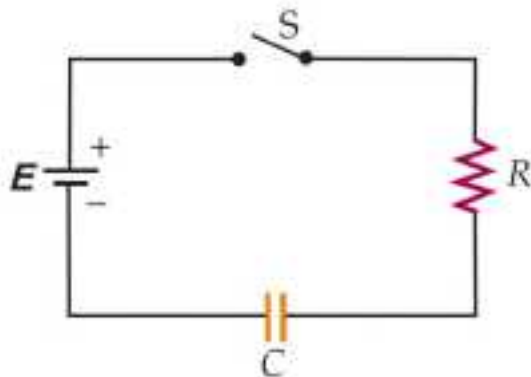
## 6.3. Circuitos RC. Carga de un condensador

- **Por lo tanto: Carga de un condensador:** dado que  $\mathcal{E} = IR + Q/C$
- Cuando  $t=0$ ,  $Q=0$ , por lo que en ese instante  $I_0 = \mathcal{E}/R$   
momento a partir del cual la carga crece hasta el máximo  $Q_f = C\mathcal{E}$  cuando  $I=0$   
donde  $I=dQ/dt$ , por lo que despejando e integrando

$$\mathcal{E} - R \frac{dQ}{dt} - \frac{Q}{C} = 0 \quad Q = C\mathcal{E}[1 - e^{-t/(RC)}] = Q_f(1 - e^{-t/\tau})$$

Resulta ser una función exponencial sencilla  $Q(t) = Q_f(1 - e^{-t/\tau})$

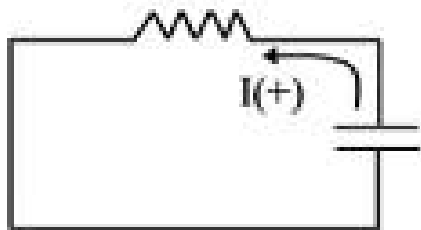
Siendo  $Q_f = C\mathcal{E}$  la **carga final** a la que queda el condensador





## 6. Corriente variables en el tiempo: corriente alterna

## 6.3. Circuitos RC. Descarga del condensador



- Supongamos el circuito de antes con el condensador cargado donde hemos eliminado la fuente, si a continuación cerramos el interruptor

En cualquier instante la ddp entre las placas del condensador es igual a la caída de tensión en la resistencia:

$$R i = q / C$$

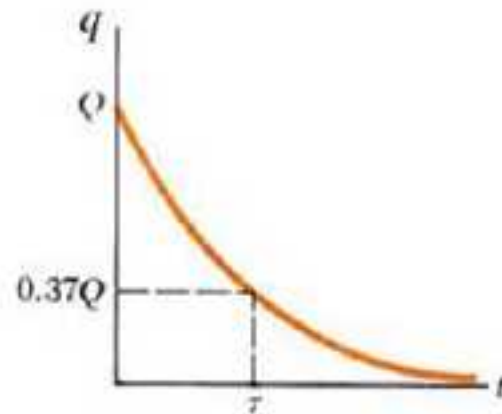
y si  $q$  es la carga sobre el condensador en un instante cualquiera, la corriente en circuito debe ser igual a la rapidez con que disminuye dicha carga, esto es:

$$i(t) = -\frac{dq}{dt}$$

que sustituyendo en la ecuación anterior:

$$-R \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} \quad \text{¿Solución si para } t=0, q=Q? \quad \longrightarrow \quad q = Q e^{-\frac{t}{RC}}$$

¿Intensidad de corriente?  $i(t) = \frac{dq}{dt} = I_o e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{donde} \quad V_o / R = I_o$



## 6. Corriente variables en el tiempo

## 6.2. Circuitos RC. Descarga de un condensador

- **Ejemplo:** un condensador de  $4 \mu\text{F}$  se carga a  $24 \text{ V}$  y luego se conecta a una resistencia de  $200 \Omega$ . Determinar:

1) La carga inicial del condensador:

$$Q_0 = CV_0 = 4 \cdot 10^{-6} \times 24 = 96 \cdot 10^{-6} \text{ C} = \boxed{96 \mu\text{C}}$$

2) La corriente inicial que circula a través de la resistencia:

$$I_0 = V_0/R = 24/200 = \boxed{0,2 \text{ A}}$$

3) La constante de tiempo:

$$\tau = R \cdot C = 200 \times 4 \cdot 10^{-6} = 800 \mu\text{s} = \boxed{0,8 \text{ ms}}$$

4) La carga que posee el condensador después de  $4 \text{ ms}$ :

$$\text{Dado que } Q(t) = Q_0 e^{-t/(RC)} = Q_0 e^{-t/\tau}$$

$$Q = Q_0 e^{-t/\tau} = 96 \cdot 10^{-6} \cdot e^{(0,004/0,0008)} = 96 \cdot e^{-5} = \boxed{0,65 \mu\text{C}}$$

## 6. Corriente variables en el tiempo

## 6.3 Energía almacenada por un condensador

La energía almacenada en un condensador es energía potencial electrostática, que puede recuperarse descargando el condensador

$$V_A - V_B = Q / C$$

Si la diferencia de potencial final entre las placas es

energía electrostática

$$U_e = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}C(V_A - V_B)^2 = \frac{1}{2}Q(V_A - V_B)$$

De las expresiones anteriores se deduce que la capacidad  $C$ , mide la capacidad de un condensador de almacenar tanto carga como energía.

Para qué sirve esto...

“El flash” de las cámaras fotográficas posee un condensador que almacena la energía necesaria para proporcionar un destello súbito de luz. Los condensadores también se utilizan en los circuitos de sintonización de radios, televisores, etc., porque seleccionan determinadas frecuencias. El desfibrilador, aparato que se utiliza para reanimar enfermos en situaciones de emergencia, consta de un condensador capaz de almacenar 360 J y entregar esta energía al paciente en 2 ms.



## 6. Corriente variables en el tiempo

## 6.4. Alternador simple

Considérese un generador simple formado por una sola espira conductora indeformable que gira a velocidad angular constante, en el interior de un campo magnético uniforme de inducción, con un periodo de rotación

La expresión del flujo en función del tiempo puede escribirse entonces de la forma:

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B S \cos \alpha = B S \cos \omega t .$$

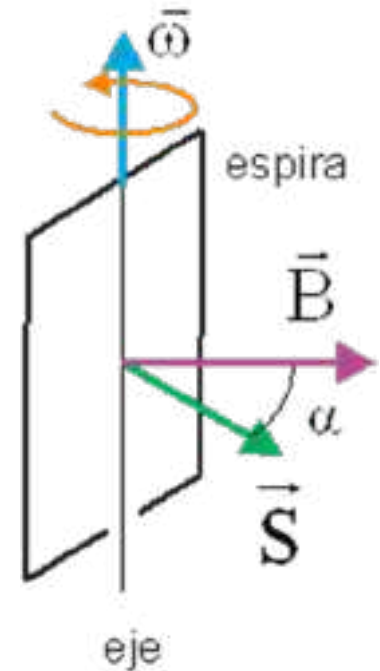
La fem instantánea inducida en la espira:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(B S \cos \omega t) = B S \omega \sin \omega t$$

Haciendo  $\varepsilon_o = BS\omega$  , resulta:

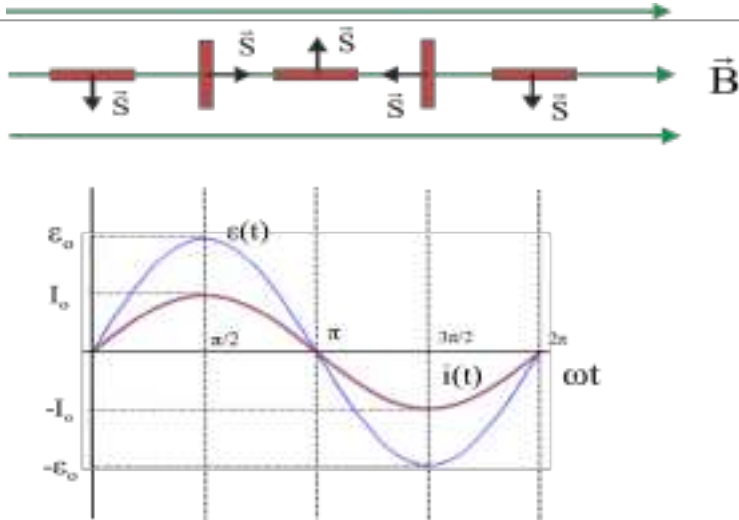
$$\varepsilon = \varepsilon_o \sin \omega t$$

Si representando la f.e.m. inducida en función del tiempo, se observa que la fem se trata de una función sinusoidal que cambia alternativamente de signo o polaridad en un periodo T, entre un valor mínimo  $-\varepsilon_o$  y un valor máximo  $\varepsilon_o$



## 6. Corriente variables en el tiempo

## 6.4. Generador de corriente alterna. Alternador simple



*¿Es la corriente alterna una vibración de muy pequeña amplitud de los electrones?*

*Cuando se visita una central eléctrica se advierte que en las proximidades de los grandes transformadores no se cruzan los brazos, ¿por qué?*

Si en el circuito del alternador tiene una resistencia  $R$ , la intensidad que circula por la misma vendrá dada por:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_o \cos \omega t}{R} = I_o \cos \omega t$$

que es también una función sinusoidal del tiempo



## 6. Corriente variables en el tiempo: corriente alterna

## 6.4. Generador de corriente alterna. Nomenclatura

En una corriente alterna no cabe definir los valores medios de  $\varepsilon(t)$  o  $i(t)$ , porque evidentemente resultan nulos, ya que dentro de cada período a todo valor positivo le corresponden otro igual en magnitud y de signo contrario. Se definen por ello los valores eficaces de la siguiente forma:

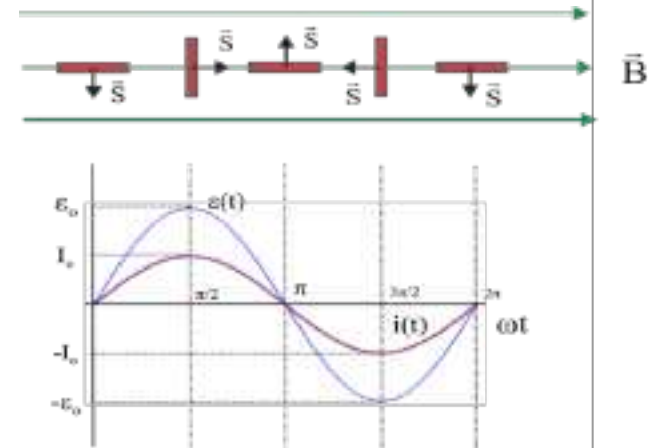
$$I_e = \frac{I_o}{\sqrt{2}} = 0,707 I_o; \quad \varepsilon_e = \frac{\varepsilon_o}{\sqrt{2}} = 0,707 \varepsilon_o$$

valores que matemáticamente corresponden a la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los valores instantáneos a lo largo de un período  $T$

$$I_e^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt; \quad \varepsilon_e^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \varepsilon(t)^2 dt;$$

**Como la corriente a disipa en la resistencias energía en forma de calor (efecto Joule) se puede demostrar que los valores eficaces de una corriente alterna son los que tendría que tener una corriente continua para que en el mismo tiempo ésta desarrollará el mismo efecto calorífico que la alterna.**

Teniendo en cuenta lo dicho, la potencia media disipada por efecto Joule puede escribirse como  $P = I_e^2 R$ .



## 6. Corriente variables en el tiempo: corriente alterna

### 6.4. Generador de Corriente alterna. Nomenclatura

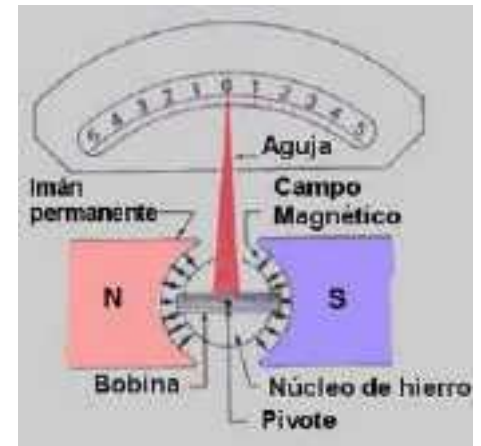
Normalmente la corriente alterna se distingue por su período o frecuencia que, están relacionados con la pulsación  $\omega$  por las siguientes expresiones:

$$T = 2\pi / \omega; \quad \nu = \omega / 2\pi \quad T = 2\pi / \omega; \quad \nu = \omega / 2\pi .$$

La tensión eficaz de la red doméstica es en España de 220 V, 120 V en EE.UU. También hay líneas independiente de 240 V para aparatos de gran potencia (secadora eléctrica) . En Europa y en Asia la corriente alterna tiene una frecuencia de 50 Hz y en EE.UU. de 60 Hz.

Que la corriente alterna tenga en España tiene una frecuencia de 50 Hz, significa que el sentido de la corriente se invierte 100 veces por segundo. Por otra parte, siempre que se menciona el voltaje o la intensidad de una corriente alterna debe entenderse su valor eficaz, ya que son las magnitudes observables con los aparatos de medida, mientras que sus correspondientes valores máximos o instantáneos no son medibles, de ordinario, por su rapidez de variación.

Para medir valores eficaces se utilizan voltímetros y amperímetros basados en efectos térmicos, ¿por qué?



# ¡Gracias por vuestra atención!



**Principios Físicos de la Informática**