



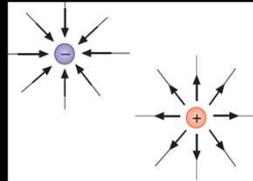
**CAMPO ELECTRICO.  
(TEMA 5)**

Fernando Escudero Ramos/I.E.S. Fernando de los Ríos

## 1. Repaso de conceptos básicos

La naturaleza está compuesta por cargas, que pueden ser positivas y negativas.

Las cargas con el mismo signo se repelen y con signo contrario se atraen.



La carga eléctrica en el S.I. se mide en C (culombios), y esta cuantificada,  $Q=ne^-$

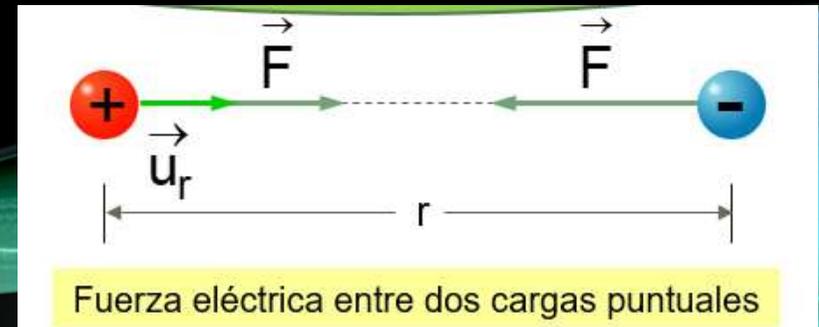
La Ley de Culomb que estudia la atracción y repulsión entre cargas puntuales es:

$$\vec{F} = K \frac{q_1 q_2}{d_{1,2}^2} \vec{u}_r$$

La unidad de carga eléctrica en el Sistema Internacional es el **culombio** (C).

1 C equivale a la carga de  $6,25 \cdot 10^{18}$  electrones.

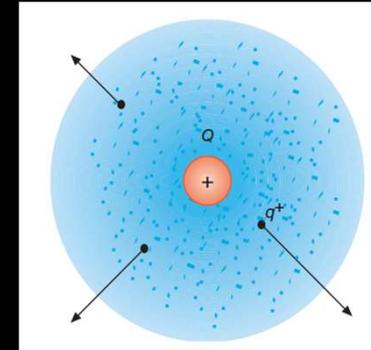
La carga del electrón es:  $-1,6019 \cdot 10^{-19}$  C.



## 2. Campo eléctrico

El campo eléctrico creado por una carga puntual, al igual que el gravitatorio, es también central, ya que está dirigido hacia o desde el punto donde se encuentra la carga que los crea.

En general, el campo eléctrico solamente es central para aquellos casos en los que es aplicable la ley de Coulomb: para cargas puntuales y para cuerpos finitos de forma esférica, cuyos radios sean despreciables frente a la distancia entre sus centros.



La fuerza que define al Campo eléctrico es la fuerza de interacción de las cargas.

$$\vec{F} = K \frac{Qq}{r^2} \vec{u}_r$$

Donde  $k$  es la constante dieléctrica del medio, que en el vacío es:

$$K_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$$

### 3. Intensidad de Campo eléctrico

Se define la **intensidad del campo eléctrico** en cualquier punto como la fuerza eléctrica que actúa sobre una unidad de carga de prueba positiva colocada en ese punto. Se representa por  $\vec{E}$ .

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q^+} = \frac{K \frac{Qq^+}{r^2} \vec{u}_r}{q^+} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

La unidad del Campo eléctrico en el S.I. es:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q^+}, \text{ se mide en N/C}$$

Cuando existen varias cargas creando campo eléctrico se superponen los campos:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots = K \frac{Q_1}{r_1^2} \vec{u}_{r_1} + K \frac{Q_2}{r_2^2} \vec{u}_{r_2} + K \frac{Q_3}{r_3^2} \vec{u}_{r_3} + \dots$$

#### 4. Potencial Eléctrico

En un punto de un campo eléctrico existe el potencial de un **voltio** cuando se ha necesitado el trabajo de un julio para trasladar desde fuera del campo una carga de un culombio hasta dicho punto.

$$V_A = \frac{W_A}{q^+} = \frac{1}{q} \int_{\infty}^A \vec{F} \cdot d\vec{r} = \frac{1}{q} \int_{\infty}^A \frac{KQq}{r^2} \vec{u}_r \cdot d\vec{r} = KQ \int_{\infty}^A \frac{-dr}{r^2} = \frac{KQ}{r_A}$$

1. El potencial eléctrico puede ser positivo o negativo; depende del signo de la carga  $Q$  que crea el campo. Una carga positiva crea un potencial positivo y una negativa crea un potencial negativo. En electricidad, el concepto de potencial es muy importante.
2. Todos los puntos que equidistan de la carga puntual que crea el campo forman una superficie esférica equipotencial.

Las líneas de fuerza son perpendiculares a las superficies equipotenciales.

#### 4.1 Potencial eléctrico en un punto del campo creado por un sistema de cargas puntuales.

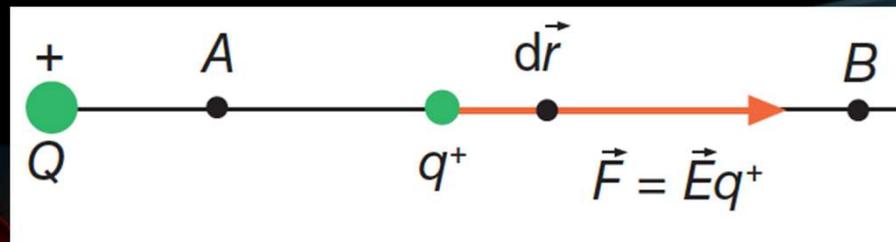
$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n = K \sum \frac{Q_i}{r_i}$$

El potencial eléctrico cuando existen varias cargas en una región del espacio se superpone.

#### 4.2. Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos

Se llama diferencia de **potencial eléctrico entre dos puntos** de un campo al trabajo realizado por el campo para trasladar la unidad de carga positiva desde un punto al otro punto. Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos:

$$(E_{pB} - E_{pA}) = -\Delta E_p = W_{AB}$$

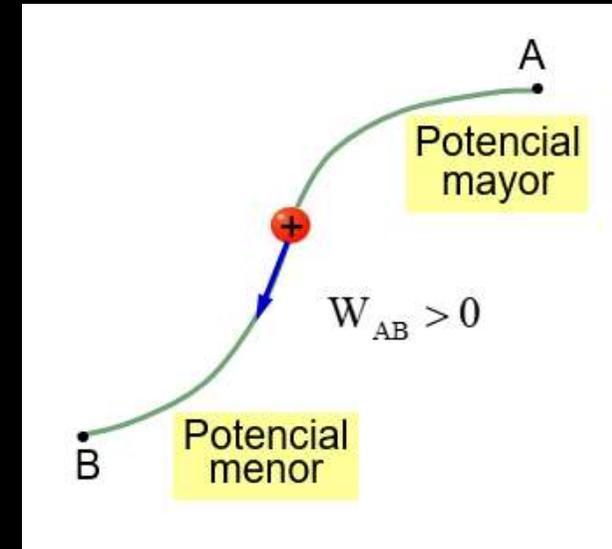


## 4.2. Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos

- El trabajo  $W_{AB}$  necesario para llevar la carga  $q'$  desde A hasta B, con velocidad constante, se emplea en variar la energía potencial del sistema, es decir:

$$W_{AB} = -\Delta E_p = -(E_{pB} - E_{pA}) = -(V_B q' - V_A q') = q' (V_A - V_B)$$

La **ddp** entre 2 puntos A y B es el trabajo realizado por el campo eléctrico para transportar la unidad de carga eléctrica positiva desde A hasta B



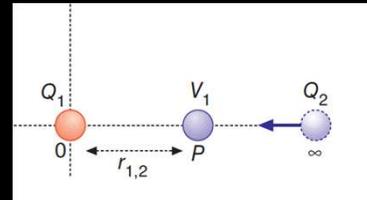
- Las cargas positivas se mueven de forma espontánea desde los puntos de mayor potencial hasta los de menor. El trabajo es mayor que cero, y lo realiza el campo
- Para las cargas negativas, ocurre lo contrario. El trabajo es negativo y se realiza contra las fuerzas del campo

$$W_{AB} = -q' (V_B - V_A) = q' (V_A - V_B)$$

Donde  $q'$  es la carga transportada.

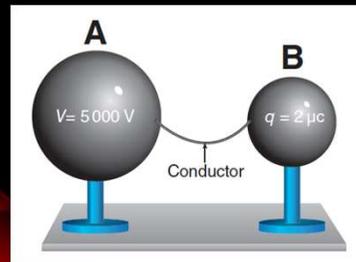
#### 4.5. Energía potencial eléctrica asociada a un sistema de cargas puntuales

$$U = Q_2 V_1 = Q_2 K \frac{Q_1}{r_{1,2}} = K \frac{Q_1 Q_2}{r_{1,2}}$$



#### 4.6. Transmisión de carga debida a una diferencia de potencial.

Cuando dos cuerpos con carga eléctrica libre o móvil se ponen en contacto, si entre ellos existe una diferencia de potencial, pasa carga positiva al que tiene menor potencial, o negativa, al que tiene mayor potencial, hasta que ambos cuerpos igualen su potencial.



Si no hay diferencia de potencial entre ellos, no habrá movimiento de cargas.

## 5. Flujo de líneas de campo y teorema de Gauss

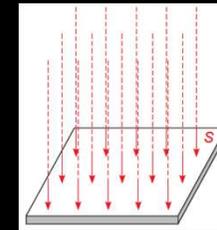
El flujo de líneas de campo a través de una superficie es proporcional al número de líneas de campo que atraviesan esa superficie, Se representa por  $\Phi$ .

$$\Phi_S = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Cuando  $\vec{E}$  es constante en la superficie,  $S$ , la integral, quedará como:

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S}$$

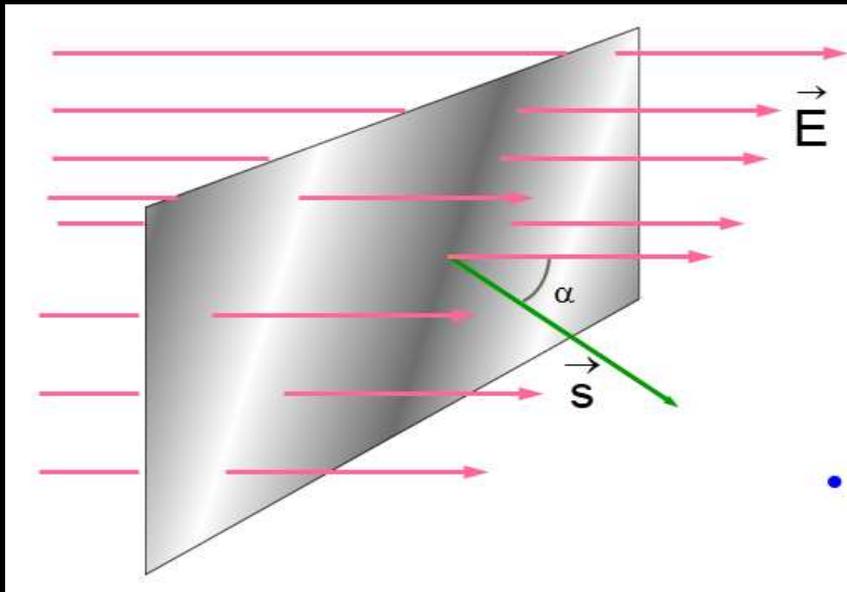
$$\Phi = E S \cos \alpha$$



El flujo depende de tres factores:

- Es proporcional a la intensidad  $E$ .
- Es proporcional al valor de la superficie  $S$ .
- El flujo depende del ángulo que forman las líneas del campo con la normal a la superficie.

## 5. Flujo de líneas de campo y teorema de Gauss



- Se denomina flujo del campo eléctrico ( $\Phi$ ) a través de una superficie al producto escalar:

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S} = E S \cos \alpha$$

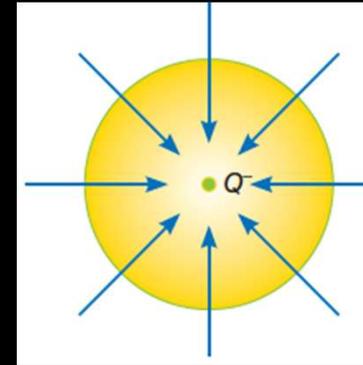
siendo  $\alpha$  el ángulo formado por el vector intensidad del campo con el vector superficie

- El flujo **representa** el número de líneas de fuerza del campo que atraviesan la superficie

- Para  $\alpha = 0^\circ$  el número de líneas de fuerza cortadas por la superficie es máximo, y el flujo también es máximo
- Para  $\alpha = 90^\circ$  ninguna línea de fuerza corta la superficie, y el flujo es **nulo**

## 5.2. Flujo eléctrico de una carga puntual

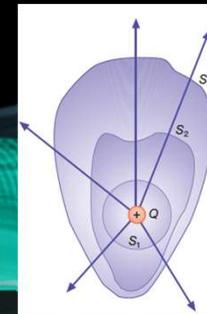
$$\phi_c = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = K \frac{Q}{r^2} \oint dS = K \frac{Q}{r^2} 4\pi r^2 = 4\pi K Q = \frac{Q}{\epsilon_0}$$



## 5.3 Teorema de Gauss

Según el **teorema de Gauss**, el **flujo neto** que atraviesa una superficie cerrada cualquiera es igual a la suma algebraica de las cargas eléctricas encerradas en su interior dividida entre la constante dieléctrica del vacío.

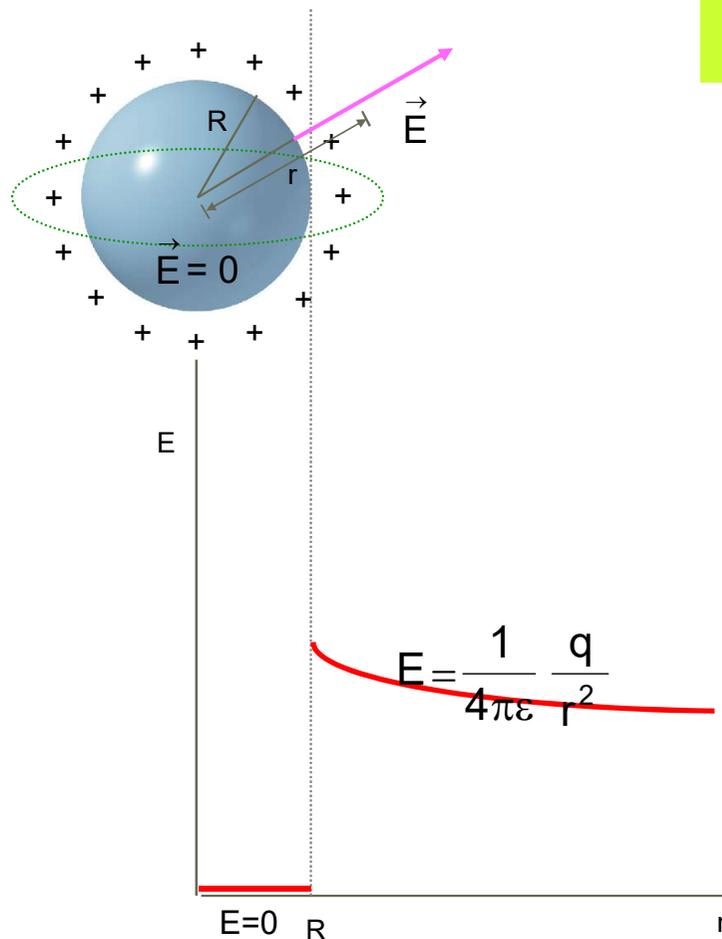
$$\phi_c = \frac{\sum Q}{\epsilon_0} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$



## 5,3 TEOREMA DE GAUSS

Física

### Aplicaciones del teorema de Gauss



### Campo eléctrico debido a un conductor esférico

- El campo es nulo para puntos interiores
- Para puntos exteriores, en los que  $r > R$ , siendo  $R$  el radio del conductor esférico, puede elegirse una superficie esférica de radio  $r$  concéntrica con el conductor
- El campo  $\vec{E}$  es radial debido a la simetría de la distribución de cargas. El flujo es:

$$\Phi = \int_s d\Phi = \int_s \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_s E dS = E \int_s dS = E 4\pi r^2$$

- Como  $E 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon} \Rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{r^2}$

- En la superficie, donde  $r = R$ , el campo es:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{R^2}$$

## 6. Analogías y diferencias entre el campo gravitatorio y el campo eléctrico.

Característica	Campo gravitatorio	Campo eléctrico
Diferencias		
Magnitud característica	Masa, $m$	Carga, $q$
Cuerpos a los que afecta	Es universal, existe para todos los cuerpos	Solo existe en los cuerpos cargados de electricidad
Tipo de campo	Es siempre atractivo	Es de atracción o repulsión
Constantes	$G$ es una constante universal	$K$ depende del valor del medio
Movimiento	Cualquier masa en movimiento no crea el campo gravitatorio	Cualquier carga en movimiento crea campo eléctrico y, además, magnético
Interacción	Es una interacción débil, solo se percibe para grandes masas	Es una interacción fuerte, se percibe incluso en cargas muy pequeñas
Analogías		
Tipo de fuerza	El campo gravitatorio y el eléctrico están creados por fuerzas centrales, y se dirigen hacia o desde el punto donde se encuentra la masa o carga que los crea.	
Tipo de campo	Son campos conservativos, porque la fuerza central solamente depende de la distancia. La fuerza que los define es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.	
Líneas de campo	Abiertas, nacen y terminan en puntos distintos, y son perpendiculares a las superficies equipotenciales.	

## 6. Analogías y diferencias entre el campo gravitatorio y el campo eléctrico. Paralelismo matemático

Magnitud	Campo gravitatorio	Campo eléctrico
Partícula característica	Masa, $m$ , en kg	Carga, $q$ , en C
Constante	$G$ , en $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$	$K$ , en $\text{N m}^2 \text{C}^{-2}$
Fuerza central	$\vec{F}_g = -G \frac{m M}{r^2} \vec{u}_r$ , N	$\vec{F}_e = K \frac{q Q}{r^2} \vec{u}_r$ , N
Intensidad	$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m} = -\frac{G M}{r^2} \vec{u}_r$ , N/kg	$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q} = \frac{K Q}{r^2} \vec{u}_r$ , N/C
Principio de superposición	$\vec{g} = \vec{g}_1 + \vec{g}_2 + \dots + \vec{g}_n$	$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$
Energía potencial en un punto A	$U_A = -\frac{G M m}{r}$ J	$U_A = \frac{k Q q}{r}$ J
Potencial en un punto	$V_A = \frac{U_A}{m} = -\frac{G M}{r}$ J/kg	$\frac{U_A}{q} = \frac{K Q}{r}$ J/C
Gradiente de potencial	$\vec{g} = \frac{dV}{dr} = u_r$	$\vec{E} = \frac{dV}{dr} u_r$
Principio de superposición	$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$	$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$
Variación de la energía potencial entre dos puntos	$U_B - U_A = -G M m \left( \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$ J	$U_B - U_A = K Q q \left( \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$ J
Diferencia de potencial entre dos puntos	$V_B - V_A = \frac{U_B - U_A}{m} = -G M \left( \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$ J/kg	$V_B - V_A = \frac{U_B - U_A}{q} = K Q \left( \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$ J/C
Flujo de campo	De una masa puntual $\phi = -4\pi G M$ $\text{J m kg}^{-1}$	De una carga puntual $\phi = 4\pi K q$ $\text{J m C}^{-1}$
Teorema de Gauss	$\phi = -4\pi G M$	$\phi = 4\pi K Q = \frac{Q}{\epsilon_0}$

## 7. Capacidad eléctrica. Condensadores

El físico M. Faraday (1791-1867) denominó **condensador** al conductor capaz de acumular carga eléctrica elevando el potencial.

**Capacidad eléctrica** es la propiedad que tienen los cuerpos conductores para almacenar y mantener la carga eléctrica, y mide la energía eléctrica almacenada para un potencial eléctrico determinado.

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

- $C$  es la capacidad medida en **faradios (F)**, en honor a Faraday, que introdujo el término de **capacidad eléctrica**.
- $Q$  es la carga almacenada en culombios.
- $V$  es el potencial o tensión en voltios.

La capacidad de un **faradio** la posee un conductor tal que al cargarlo con un culombio adquiere el potencial de un voltio.

En la práctica se emplean las siguientes unidades:

- El microfaradio  $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$ .
- El nanofaradio  $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$ .
- El picofaradio  $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$ .

## 7.3 Condensadores

Son elementos capaces de almacenar carga en forma de campo eléctrico.

**Condensador** es un sistema formado por dos conductores muy próximos entre sí separados por un aislante. Independientemente de su forma, cada conductor recibe el nombre de «placa» o «armadura» del condensador. Un condensador está hecho para almacenar y ceder energía de acuerdo con las necesidades de un circuito concreto.

Normalmente, entre las placas de un condensador suele haber un material aislante, conocido como dieléctrico del condensador, que al polarizarse aumenta la capacidad.

$$C = \varepsilon' \cdot C_0$$

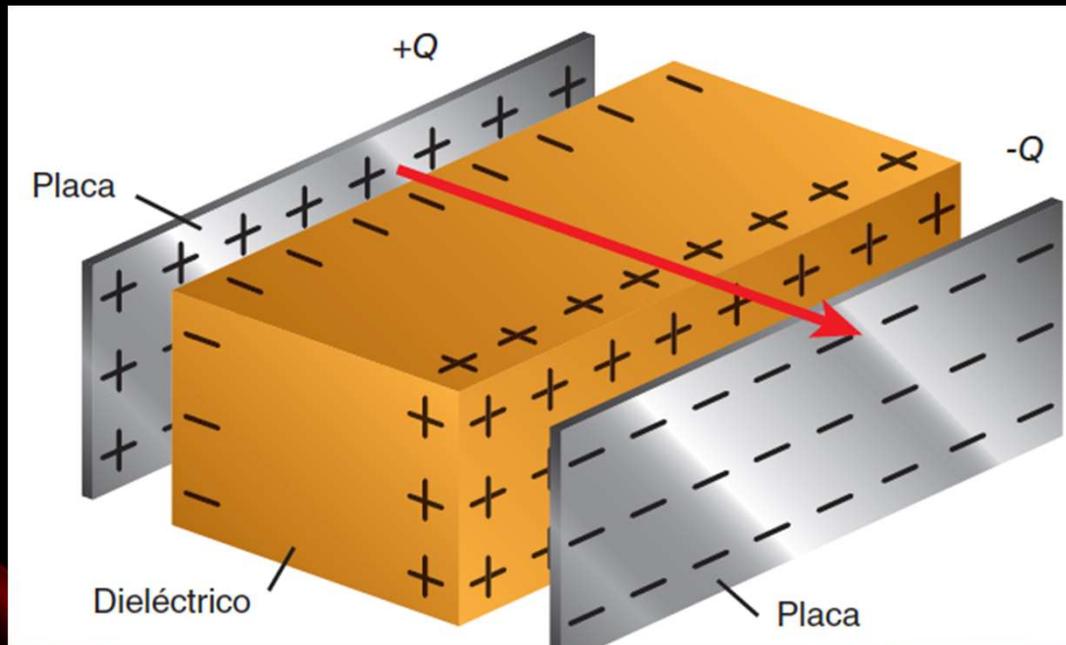
- $C_0$  es la capacidad del condensador sin dieléctrico
- $k$  es la constante dieléctrica relativa del medio
- $C$  es la nueva capacidad colocando un dieléctrico

$$V_2 - V_1 = E \cdot d$$

- $V_1$  y  $V_2$  son los potenciales de las placas
- $E$  es campo eléctrico creado en el dieléctrico
- $d$  es la distancia entre placas

### 7.3 Condensadores

Condensador plano con dieléctrico :



$$C = \frac{\epsilon' \cdot \epsilon_0 \cdot S}{d}$$

Símbolo :

