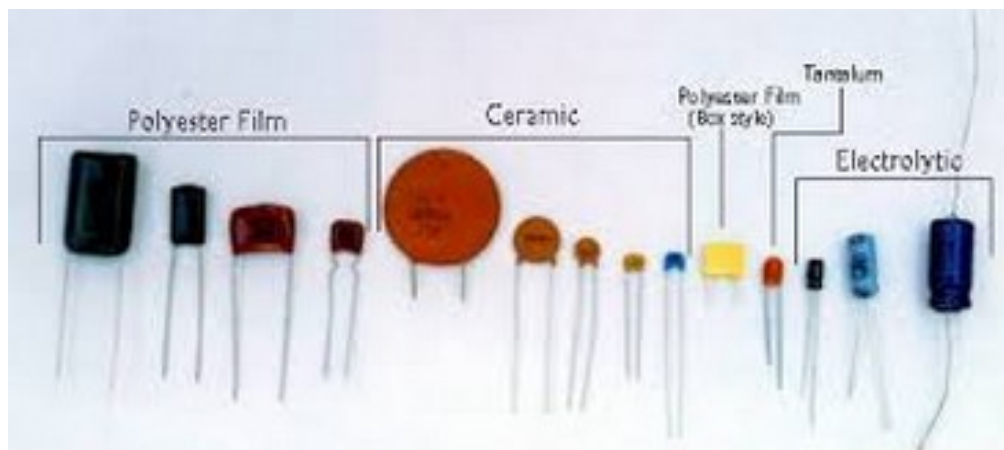


Capacitores y dieléctricos

**Presentación basada en el material contenido en:
Serway, R. Physics for Scientists and Engineers.
Saunders College Pub. 3rd edition.**





3404 × 1728 - placeshiftingenthusiasts.com



Old Technology(1745-1970)



Leyden
Jar
1745

Klasi and
Mason's
Leyden Jar
(Klasi 1745)



Mica
Capacitor
1850



Paper &
ceramics
1900



Film & Foil
Capacitor
1960



Electrolytic
Capacitor
1970



Metallized
Film Cap
1990



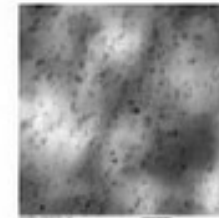
Field Tunable
Film Cap
1998



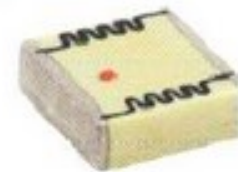
Multilayer
Ceramics
1999



Ultra
Capacitor
2000



Nano
dielectrics
2002

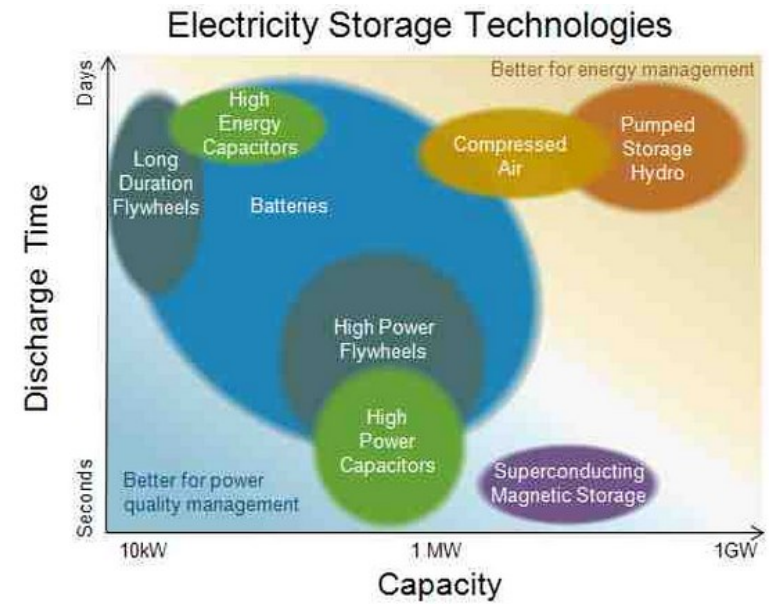


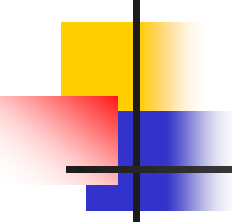
Nonlinear
Composites
2004

New Technology(1990-)



Samsung's 6 MW battery in the UK





Capacitores

- Los capacitores son dispositivos que almacenan carga eléctrica
- Ejemplos de donde se utilizan los capacitores incluyen:
 - Radiorreceptores
 - Filtros de fuentes de potencia
 - Dispositivos para almacenamiento de energía en sistemas de escala variable

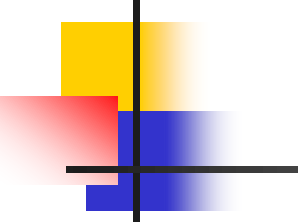
La Capacitancia

- La **capacitancia**, C , de un capacitor se define como el cociente de la magnitud de la carga sobre un conductor y la diferencia de potencial entre los elementos conductores del capacitor

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

- La unidad del SI es el **farad** (F)





$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

conductor*. The capacitance is large if the conductor is capable of storing a large amount of charge at a low potential. For instance, the capacitance of a spherical conductor is

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{(1/4\pi\epsilon_0)Q/R} = 4\pi\epsilon_0 R \quad (26.3)$$

EXAMPLE 1 What is the capacitance of an isolated metallic sphere of radius 20 cm?

SOLUTION: According to Eq. (26.3),

$$\begin{aligned} C &= 4\pi\epsilon_0 R = 4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m} \times 0.20 \text{ m} \\ &= 2.2 \times 10^{-11} \text{ F} = 22 \text{ pF} \end{aligned}$$

EXAMPLE 2 The ground and the oceans are conductors, and the Earth can therefore be regarded as a conducting sphere. What is its capacitance?

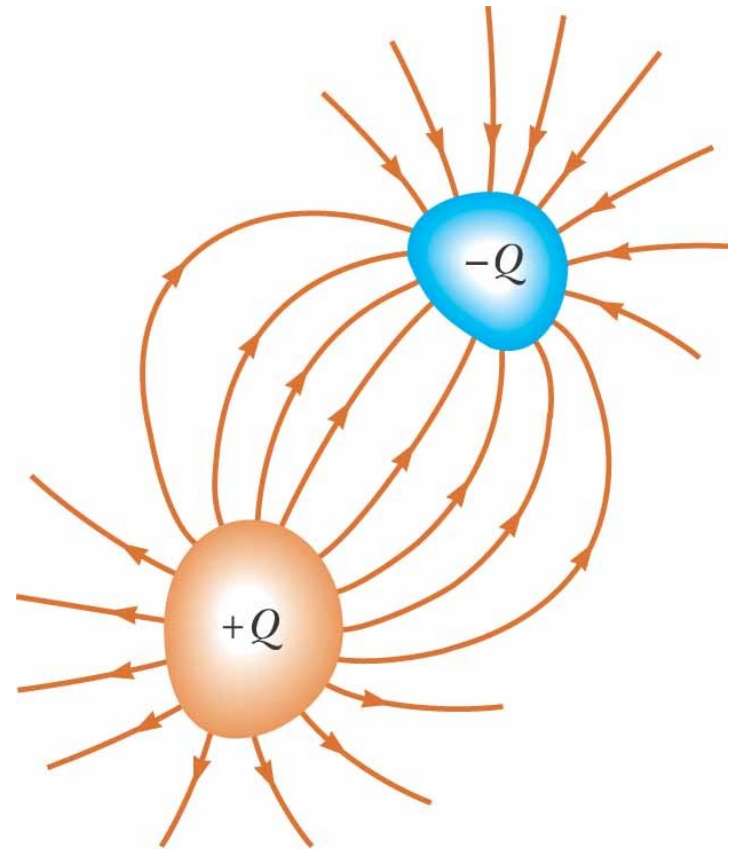
SOLUTION: The radius of the Earth is $6.4 \times 10^6 \text{ m}$; therefore

$$\begin{aligned} C &= 4\pi\epsilon_0 R = 4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m} \times 6.4 \times 10^6 \text{ m} \\ &= 7.1 \times 10^{-4} \text{ F} \end{aligned}$$

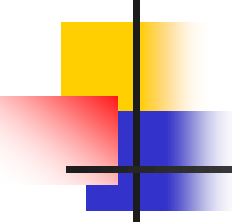
COMMENTS: As capacitances go, this is a rather large capacitance. However, note that to alter the potential of the Earth by 1 volt requires a charge of only $Q = CV = 7.1 \times 10^{-4} \text{ F} \times 1 \text{ volt} = 7.1 \times 10^{-4} \text{ coulomb}$.

Construcción de un capacitor

- Un capacitor consiste de dos conductores
 - Éstas son llamadas placas
 - Cuando las placas se cargan, éstas adquieren una carga igual y opuesta
- Como consecuencia de esta carga, las placas desarrollan una diferencia de potencial entre ellas



©2004 Thomson - Brooks/Cole

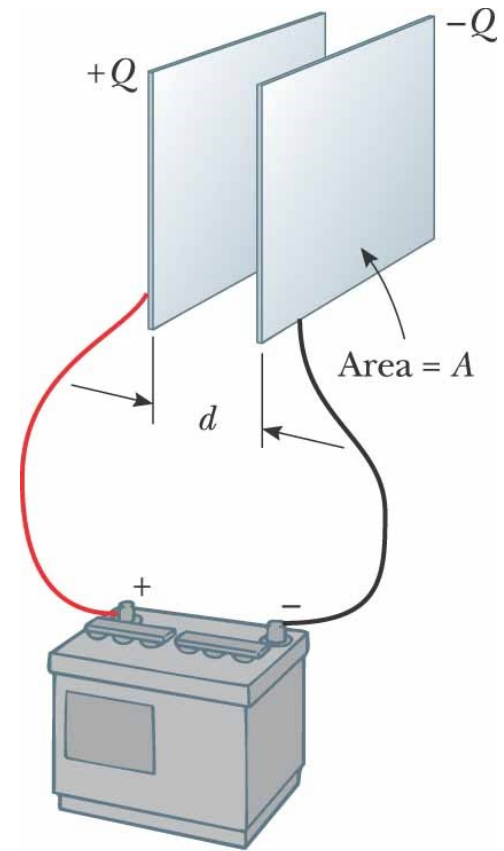


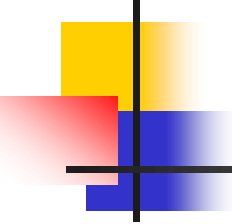
Más sobre sus generalidades

- La capacitancia siempre es una cantidad positiva
- La capacitancia de un sistema es una constante
- La capacitancia es una medida de la capacidad del sistema (capacitor) para almacenar carga eléctrica
- El farad es una unidad verdaderamente grande. Las cantidades que típicamente se manejan son más bien en microfarads (μF) y picofarads (pF)

Capacitor de placas paralelas

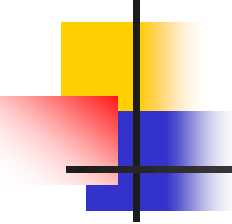
- Cada uno de las placas se conecta a las terminales de una batería
- Si el capacitor está inicialmente descargado, la batería establece un campo eléctrico a través de los cables conductores mediante los que se conectan





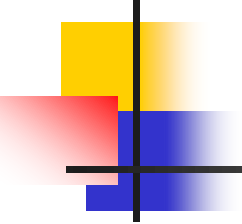
Capacitor de placas paralelas, cont...

- El campo producido por la batería aplica una fuerza sobre los electrones en el alambre justo antes de las placas
- Esta fuerza provoca que los electrones migren hacia la placa negativa
- Este movimiento continua hasta que se establece un equilibrio electrostático (igualdad de potenciales eléctricos)
 - Cada placa, el alambre y las terminales de la batería se encuentran ahora al mismo valor del potencial eléctrico
- En esta condición, no existe más un campo presente en el alambre y cesa el movimiento de los electrones.



Más...

- La placa queda cargada negativamente
- En la otra placa ocurre un proceso similar, los electrones migran ahora desde la placa y producen una deficiencia de electrones...la placa queda positivamente cargada
- En su configuración final, la diferencia de potencial que se establece entre las placas es la misma que existe entre los bornes de la batería.

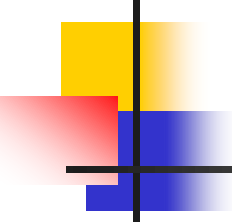


Capacitancia de una esfera aislada

- Suponga que tiene una esfera conductora cargada
- El potencial $V = 0$ es la convención (en el infinito)

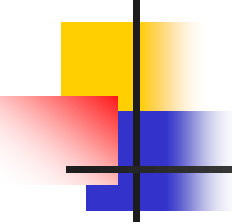
$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{k_e Q / R} = \frac{R}{k_e} = 4\pi\epsilon_0 R$$

- Note que el valor de esta capacitancia es independiente de la carga y de la diferencia de potencial.



Capacitancia de arreglo de placas paralelas

- La densidad de carga sobre las placas es $\sigma = Q/A$
 - A es el área de cada placa, es igual para las dos placas
 - Q es la carga en cada placa, también es numéricamente igual pero de signo contrario
- El campo eléctrico es homogéneo entre las placas y vale cero afuera de esta región

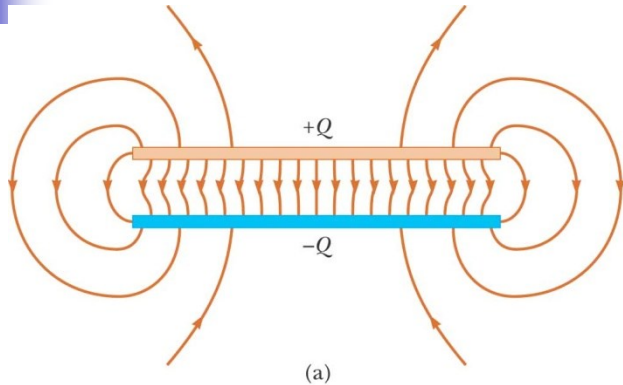


Capacitancia de placas paralelas

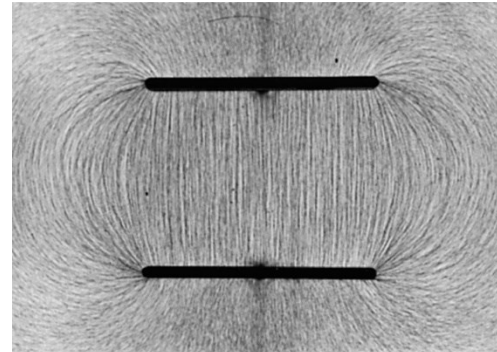
- Como se ve, la capacitancia es directamente proporcional al área de las placas e inversamente proporcional a la distancia que separa a las placas

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{Ed} = \frac{Q}{Qd / \epsilon_0 A} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Consideraciones sobre capacitor de placas paralelas.



©2004 Thomson - Brooks/Cole

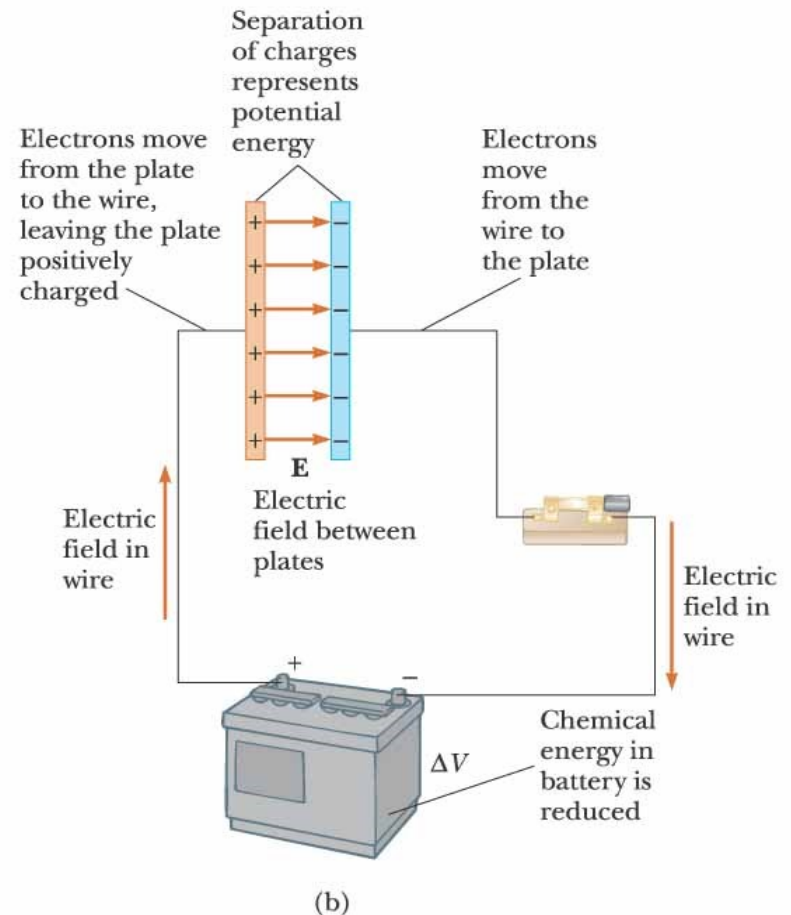


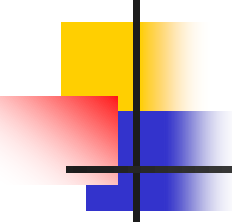
© 2004 Thomson - Brooks/Cole

- Solamente en la región central del arreglo de placas paralelas vale lo de la homogeneidad del campo eléctrico; en la vecindad de las orillas esto no es necesariamente válido
- Si la separación entre las placas es muy pequeña comparada con la longitud de las placas, el efecto de la no uniformidad del campo eléctrico puede ser ignorado

La energía en un capacitor

- Considere que el sistema consiste de un circuito eléctrico
- Antes de que el interruptor sea cerrado la energía es solamente energía química almacenada en la batería.
- Una vez que se cierra el interruptor, una parte de la energía química de la batería se transforma en energía potencial eléctrica





Más...

- La energía potencial eléctrica está relacionada con la carga que se ha acumulado y la separación que existe entre éstas cuando están sobre las placas.
- Un capacitor puede describirse como un dispositivo que almacena carga y energía potencial eléctrica

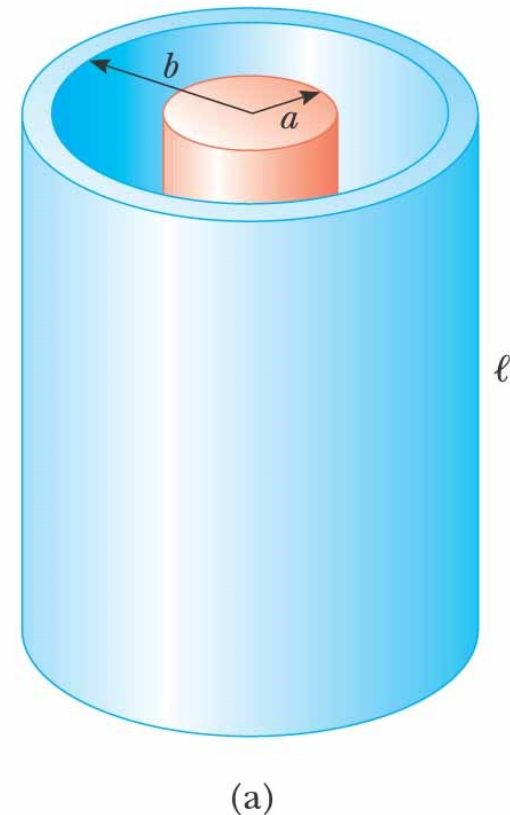
Capacitancia de un capacitor cilíndrico

- A partir de la ley de Gauss, el campo entre los dos cilindros es

$$E = 2k_e \lambda / r$$

- $\Delta V = -2k_e \lambda \ln(b/a)$
- La capacitancia será ahora:

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{\ell}{2k_e \ln(b/a)}$$



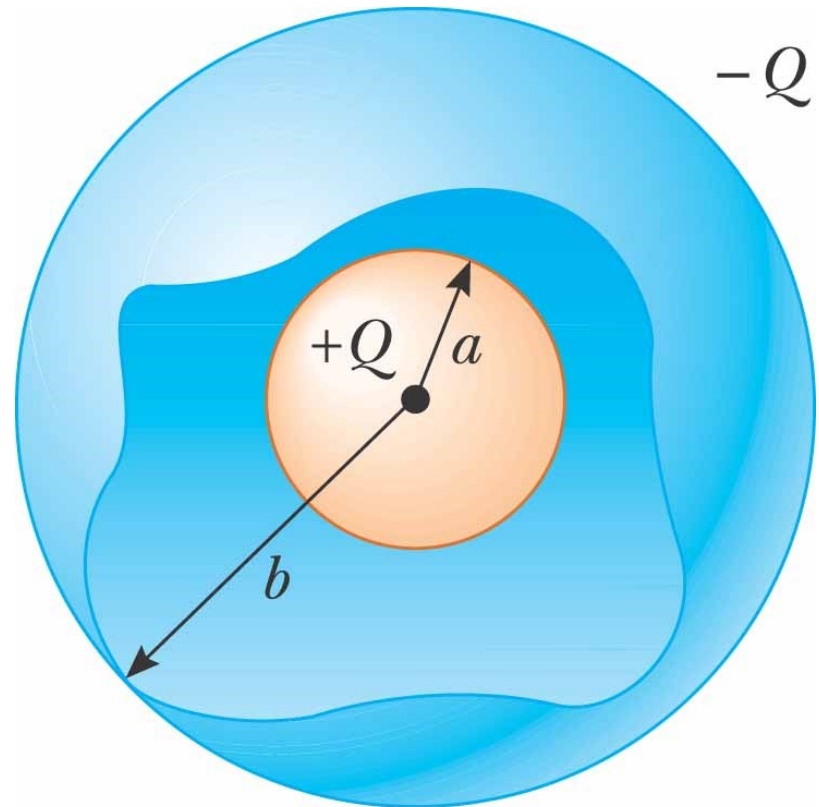
Capacitancia de un capacitor esférico

- La diferencia de potencial es:

$$\Delta V = k_e Q \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)$$

- Así, la capacitancia es:

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{ab}{k_e (b - a)}$$



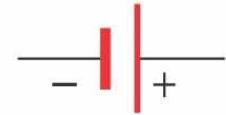
Símbolos de capacitores en un circuito

- Un diagrama de circuito es una representación simplificada de un circuito real
- Los símbolos de un circuito representan a los elementos del circuito
- Las líneas son los alambres
- La terminal positiva de una batería se representa con una línea más larga

Capacitor
symbol



Battery
symbol

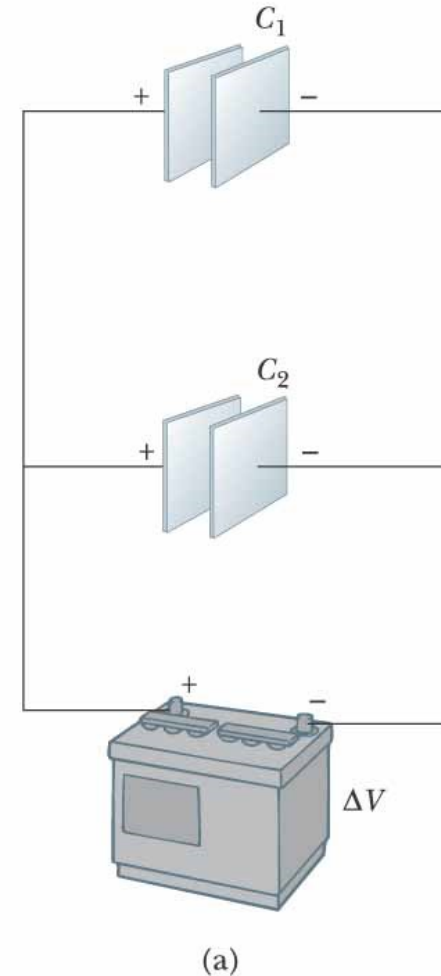


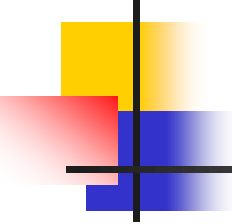
Switch
symbol



Capacitores en paralelo

- Cuando se conectan los capacitores en el circuito, los electrones se transfieren desde las placas de la izquierda a través de la batería a las placas de la derecha, dejando a la placa del lado izquierdo cargada positivamente y a la placa del lado derecho cargada negativamente



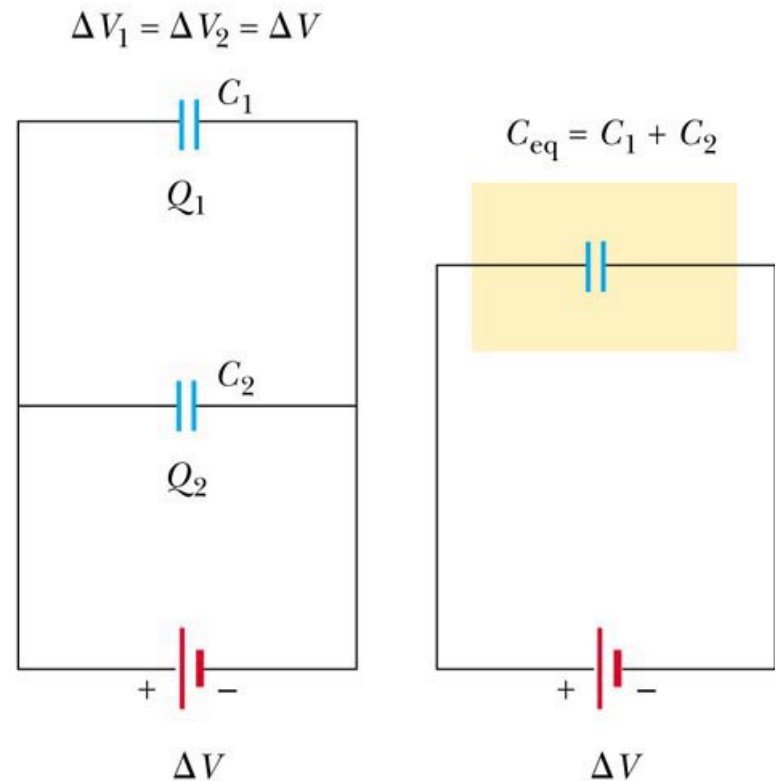


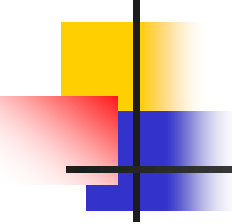
Capacitores en Paralelo,2

- El flujo de carga termina cuando el voltaje a través de los capacitores iguala al de la batería.
- Los capacitores alcanzan su máxima carga cuando el flujo de carga cesa.
- La carga total es la suma de las cargas en las placas de los capacitores (tomar sólo la placa positiva de cada capacitor)
 - $Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2$
- La diferencia de potencial a través de los capacitores en paralelo es la misma.
 - Cada una de éstas es igual al voltaje de la batería.

Capacitores en Paralelo, 3

- Los capacitores pueden ser reemplazados por un capacitor con la misma capacitancia
 - El capacitor equivalente debe tener exactamente el mismo efecto externo sobre el circuito que el de los capacitores originales.



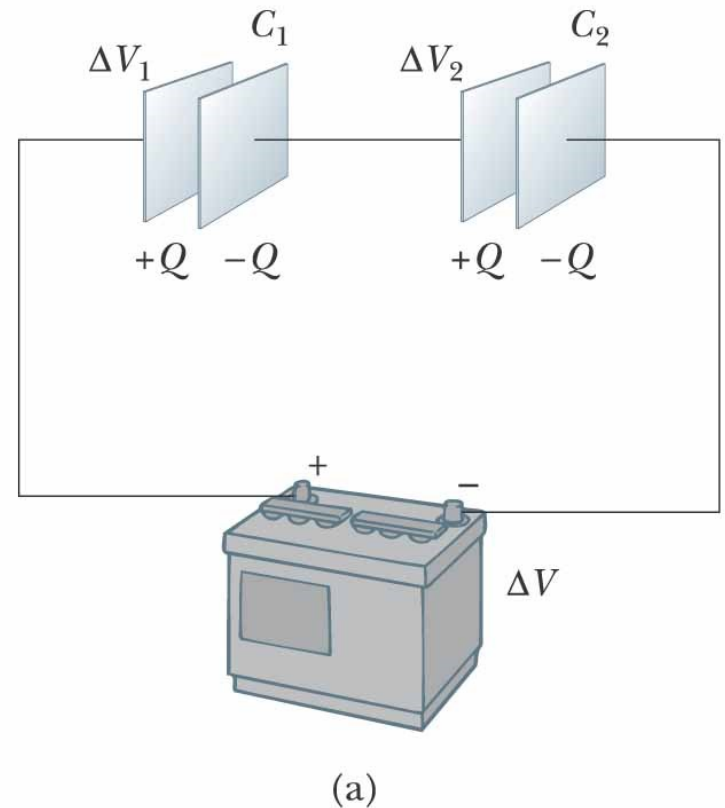


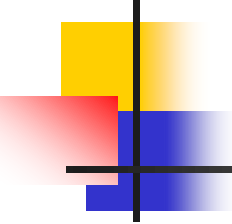
Capacitores en Paralelo, final

- $C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots$
- La capacitancia equivalente de una combinación de capacitores en paralelo es mayor que la de cualquiera de los capacitores individualmente
 - En esencia, se combinan las áreas

Capacitores en Serie

- Cuando una batería se conecta al circuito, los electrones se transfieren desde la placa de la izquierda C_1 hacia la placa de la derecha C_2 a través de la batería



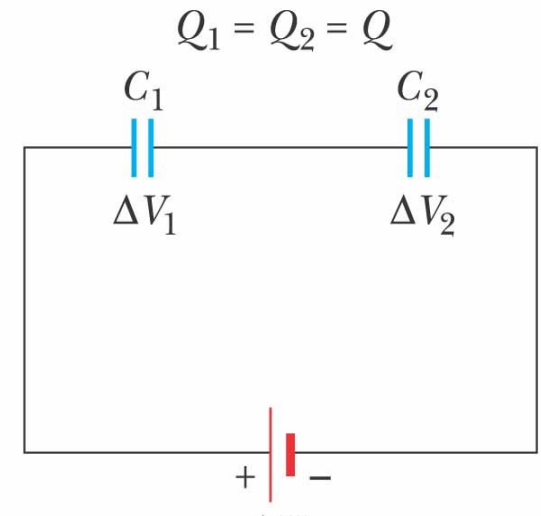


Capacitores en Serie, 2

- Al irse acumulando la carga negativa sobre la placa derecha, C_2 , una cantidad equivalente de carga se remueve desde la placa de lado izquierdo de C_2 , dejándola con un exceso de carga positiva
- Todas las placas del lado derecho ganan una carga $-Q$ y todas las placas de la izquierda tienen una carga $+Q$

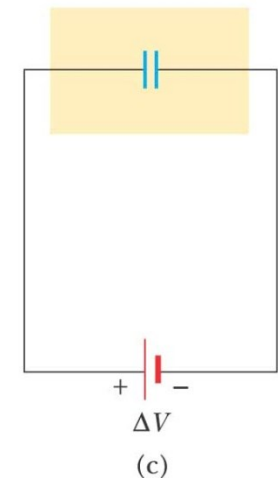
Capacitores en serie, 3

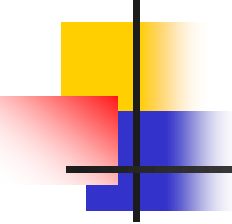
- Un capacitor equivalente debe desempeñar las mismas funciones que hacia la combinación en serie
- Las diferencias de potencial se suman hasta igualar el voltaje de la batería



$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

©2004 Thomson - Brooks/Cole





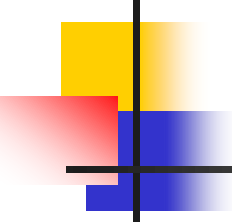
Capacitores en Serie, final

$$Q = Q_1 = Q_2 = \dots$$

$$\Delta V = V_1 + V_2 + \dots$$

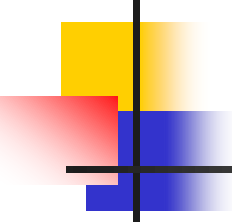
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

- La capacitancia de una combinación en serie es siempre menor que la menor de las capacitancias de la combinación



Problemas, algunos tips

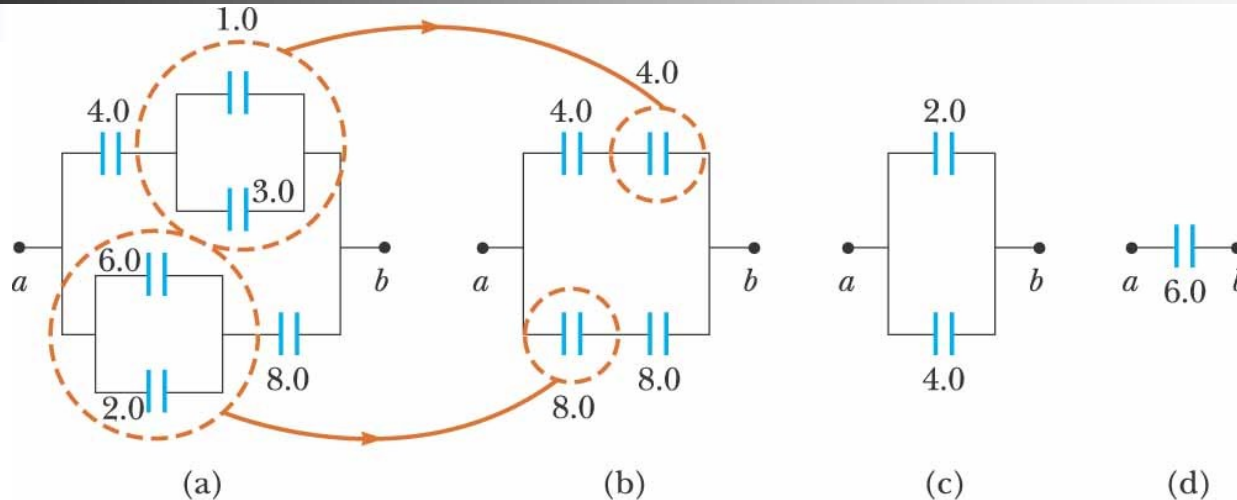
- Cuidado con las unidades
 - En el SI la capacitancia está en farads, la distancia en metros, la diferencia de potencial en volts
 - Los campos eléctricos pueden ahora expresarse, ya sea en V/m ó en N/C
- Cuando dos o mas capacitores se conectan en paralelo la diferencia de potencial a través de ellos es la misma.
 - La carga almacenada por cada capacitor es proporcional a su capacitancia.
 - Las capacitancias se suman directamente hasta hacer la capacitancia equivalente



Problemas, algunos tips, cont

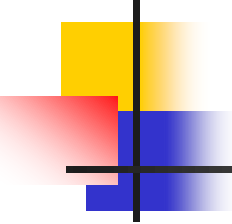
- Cuando dos o más capacitores se conectan en serie cada uno de ellos tiene la misma carga; la diferencia de potencial no es la misma
 - Los recíprocos de las capacitancias se suman y la capacitancia equivalente es siempre menor que la menor de las capacitancias del circuito

Capacitancias equivalentes, un ejemplo



©2004 Thomson - Brooks/Cole

- Los capacitores de $1.0\text{-}\mu\text{F}$ y $3.0\text{-}\mu\text{F}$ están en paralelo; también lo están los de $6.0\text{-}\mu\text{F}$ y $2.0\text{-}\mu\text{F}$.
- Estas combinaciones en paralelo están en serie con los capacitores próximos a ellos
- Las combinaciones en serie están en paralelo y al final puede encontrarse la capacitancia equivalente



La energía almacenada en un capacitor

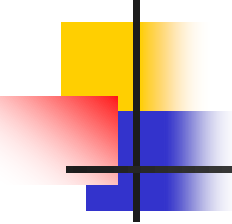
- Suponga que el capacitor está siendo cargado y que en algún tiempo t , él tiene una carga q

El trabajo necesitado para transferir una carga desde una placa hasta otra es

$$dW = \Delta V dq = \frac{q}{C} dq$$

- El trabajo total requerido es :

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{Q^2}{2C}$$

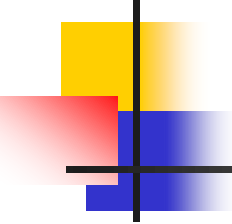


Energía...cont.

- El trabajo que se realiza al cargar el capacitor aparece como energía potencial eléctrica U :

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q \Delta V = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2$$

- Esto aplica a un capacitor con una simetría cualquiera.
- La energía almacenada incrementa cuando la carga incrementa y cuando la diferencia en el potencial eléctrico incrementa
- En la práctica, existe un voltaje máximo antes de que la descarga ocurra entre las placas



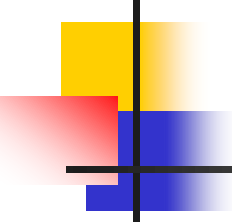
Energía, final

- La energía está almacenada en el campo eléctrico.
- Para un capacitor de placas paralelas, la energía puede expresarse en términos del campo como:

$$U = \frac{1}{2} (\epsilon_0 A d) E^2$$

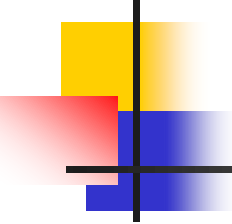
- Esta puede ser expresado también en términos de la densidad de energía (energía por unidad de volumen)

- $u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$



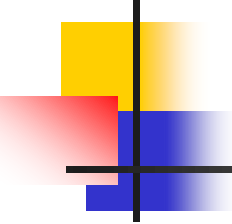
Algunos usos de los capacitores

- Desfibriladores
 - Cuando aparece fibrilación, el corazón produce patrones de latidos que son rápidos e irregulares
 - Una descarga rápida de energía eléctrica a través del corazón es capaz de regresar a que recupere su patrón normal de latidos.
- En general, los capacitores actúan como reservorios de energía que pueden ser lentamente cargados y rápidamente descargados para producir cantidades de energía grandes en un pulso corto.



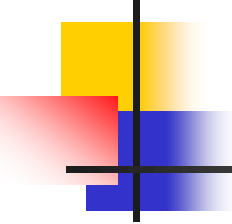
Capacitores con dieléctricos

- Un dieléctrico es un material no conductor que cuando se coloca entre las placas de un capacitor incrementa la capacitancia.
 - Entre los dieléctricos se incluyen hules, plásticos, ceras y papel
- Para un capacitor de placas paralelas $C = \kappa C_0 = \kappa \epsilon_0 (A/d)$
 - La capacitancia esta multiplicada por el factor κ (constante dieléctrica) cuando el capacitor llena totalmente el espacio entre las placas



Dieléctricos, cont...

- In teoría, la d podría ser hecha tan pequeña como para crear una gran capacitancia (placas paralelas)
- En la práctica, existen límites para fijar el valor de d
 - d está limitada por la descarga de las placas del capacitor que puede romper la constante dieléctrica del medio que separa las placas.
- Para un valor dado de d , el máximo valor del voltaje que se puede aplicar al capacitor sin que se provoque una descarga depende de la resistencia dieléctrica del medio material.



Dieléctricos, final

- Los dieléctricos producen las siguientes ventajas en un capacitor:
 - Incrementan la capacitancia
 - Incrementa el máximo valor del voltaje de operación
 - Dan soporte mecánico al sistema de placas
 - Esto permite que las placas estén muy próximas sin tocarse
 - Lo cual permite decrecer d e incrementar C

Valores de la constante dieléctrica de algunos materiales

Table 26.1

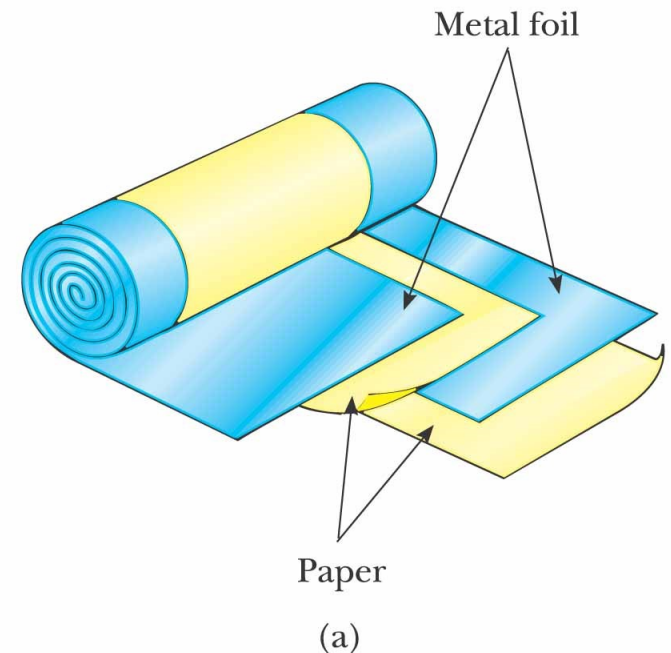
Approximate Dielectric Constants and Dielectric Strengths of Various Materials at Room Temperature		
Material	Dielectric Constant κ	Dielectric Strength ^a (10^6 V/m)
Air (dry)	1.000 59	3
Bakelite	4.9	24
Fused quartz	3.78	8
Mylar	3.2	7
Neoprene rubber	6.7	12
Nylon	3.4	14
Paper	3.7	16
Paraffin-impregnated paper	3.5	11
Polystyrene	2.56	24
Polyvinyl chloride	3.4	40
Porcelain	6	12
Pyrex glass	5.6	14
Silicone oil	2.5	15
Strontium titanate	233	8
Teflon	2.1	60
Vacuum	1.000 00	—
Water	80	—

^a The dielectric strength equals the maximum electric field that can exist in a dielectric without electrical breakdown. Note that these values depend strongly on the presence of impurities and flaws in the materials.

¿por donde andará un metal?

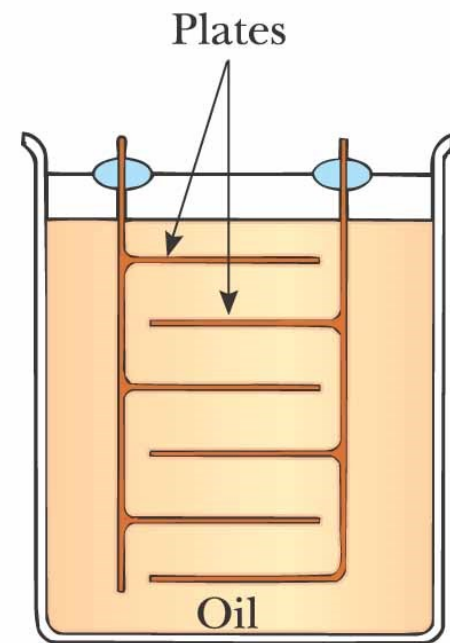
Tipos de Capacitores – de tubo

- Un hoja metálica puede ser intercalada con hojas de papel o con mylar
- Las capas se enrollan en un cilindro para hacer un empaque pequeño que es el capacitor



Tipos de capacitores – de aceite

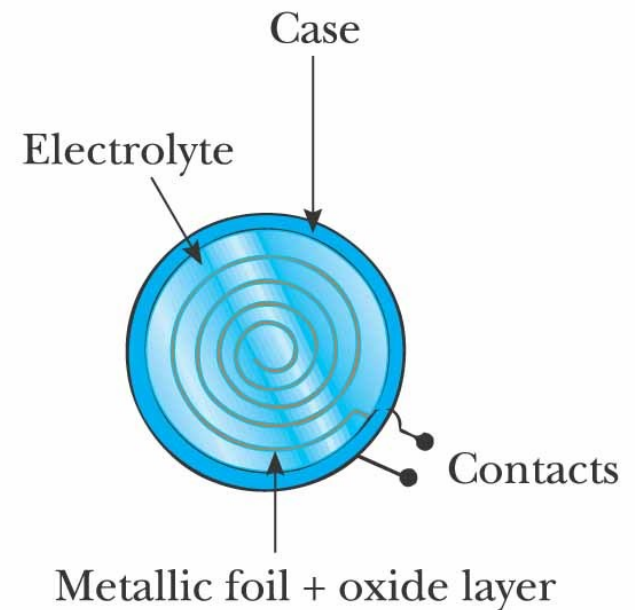
- Se usa comúnmente para capacitores de alto voltaje
- Existen un número placas metálicas entrelazadas y sumergidas en aceite de silicón



(b)

Tipos de capacitores-electrolítico

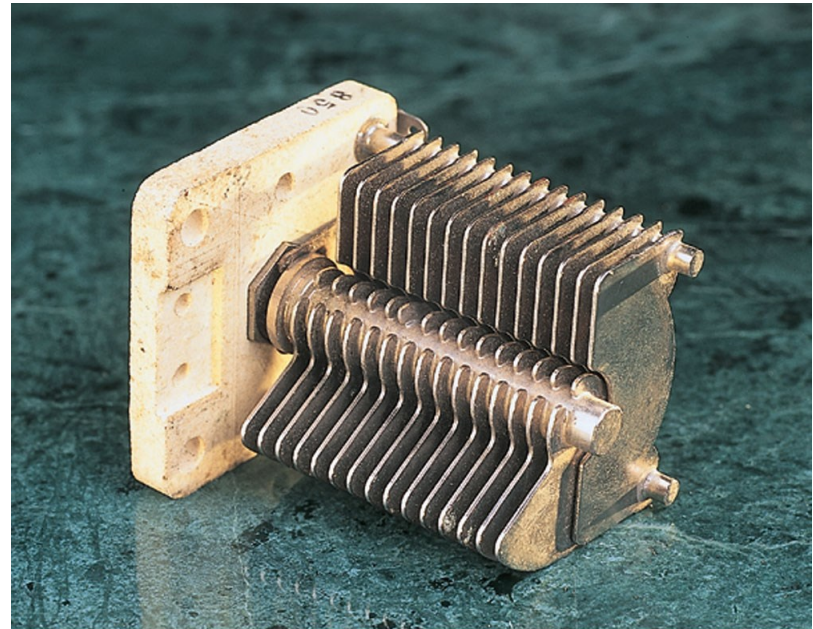
- Se usa para almacenar cantidades grandes de carga a relativamente bajos voltajes
- El electrolito es una solución que conduce electricidad porque tiene iones libres en el medio



(c)

Tipos de capacitores – de capacitancia variable

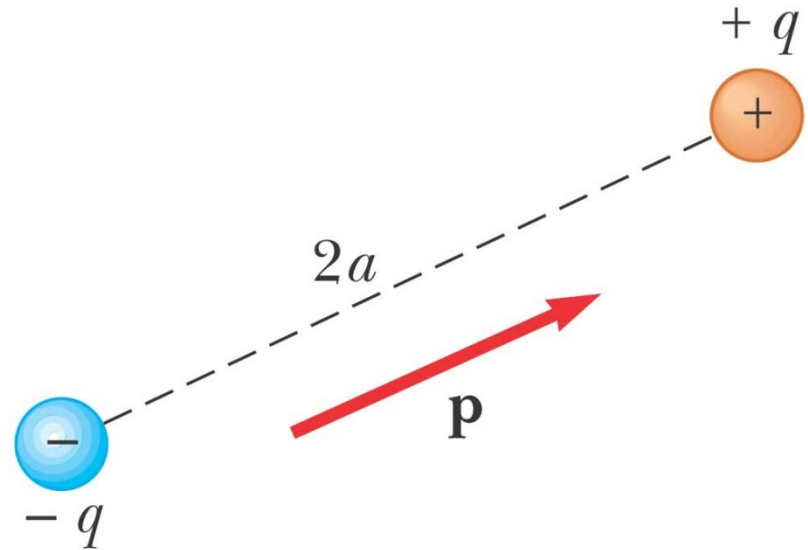
- Los capacitores de capacidad variable consisten de dos conjuntos de placas que se traslapan
- Un sistema de placas esta fija, en tanto que la otra es móvil
- Los valores típicos de la capacitancia van de 10 a 500 pF
- Se usan en circuitos sintonizadores de radiorreceptores

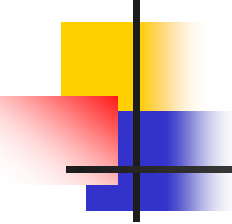


© 2004 Thomson - Brooks/Cole

El dipolo eléctrico

- Un dipolo eléctrico consiste de dos cargas de igual magnitud pero signo contrario
- Las cargas están separadas por una distancia $2a$
- El **momento dipolar eléctrico** ($\mathbf{p}$) está dirigido a lo largo de la línea que une a las cargas y va desde la negativa y hacia la positiva, de $-q$ a $+q$



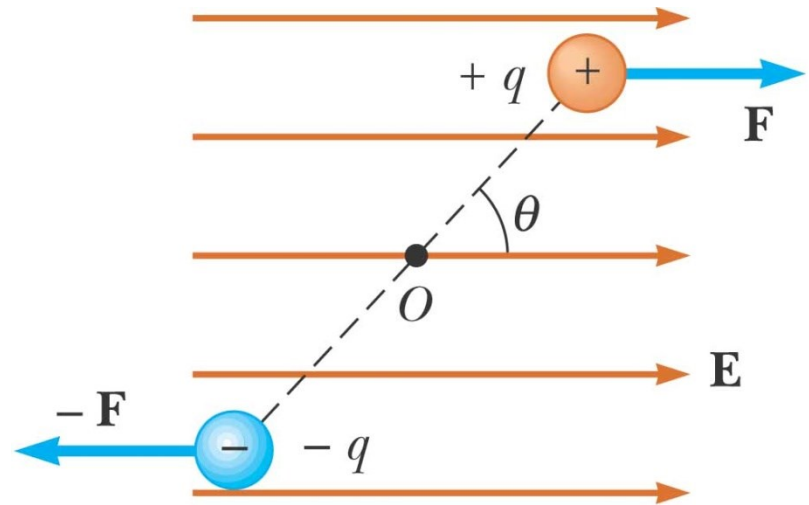


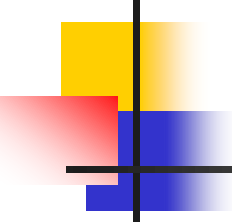
Dipolo Eléctrico, 2

- El momento dipolar eléctrico tiene una magnitud de $p = 2aq$
- Suponga que a este dipolo se le coloca en un campo eléctrico externo, uniforme de magnitud $\mathbf{E}$
 - $\mathbf{E}$ es externo al dipolo; NO es el campo producido por el dipolo
 - Suponga que el dipolo hace un ángulo θ con el campo

Dipolo eléctrico, 3

- Cada carga experimenta una fuerza $F = Eq$ actuando sobre ella
- La fuerza eléctrica sobre el dipolo es cero
- Cada fuerza produce una torca neta sobre el dipolo





Dipolo Eléctrico, final

- La magnitud de la torca es:

$$\tau = 2Fa \sin \theta = pE \sin \theta$$

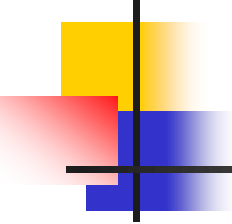
- La torca puede también expresarse como el producto cruz entre el momento y el campo

$$\tau = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$$

- La energía potencial puede ser expresada como función de la orientación del dipolo dentro del campo :

$$U_f - U_i = pE(\cos \theta_i - \cos \theta_f) \rightarrow$$

$$U = - pE \cos \theta = - \mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$$

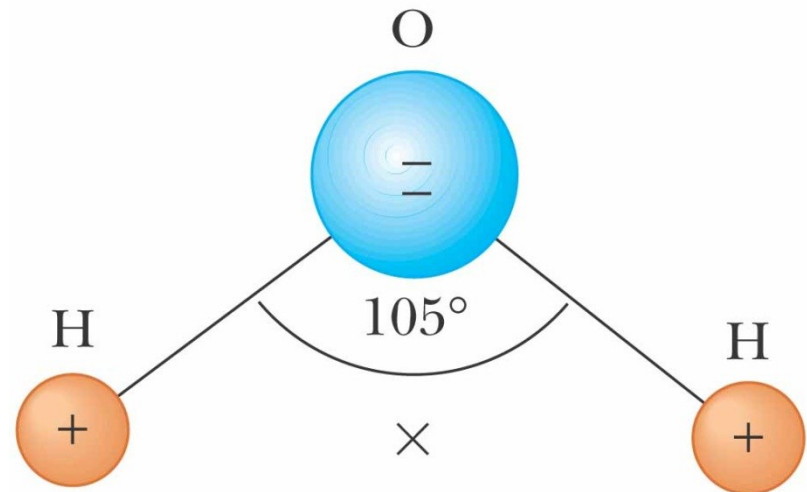


Moléculas Polares vs. No polares

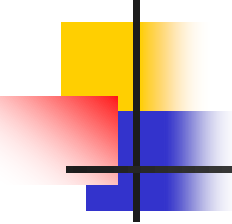
- Se dice que las moléculas son polarizadas cuando existe una separación entre la posición promedio de las cargas negativas y las cargas positivas
- **Las moléculas polares** son aquellas en las que la anterior condición está siempre presente.
- A las moléculas sin una polarización permanente se les llama **no polares**

Las moléculas de Agua

- Es un ejemplo de molécula polar
- El centro de la carga negativa del dipolo esta cerca del atomo de oxigeno
- Con x se señala el centro de la carga positiva del dipolo



©2004 Thomson - Brooks/Cole

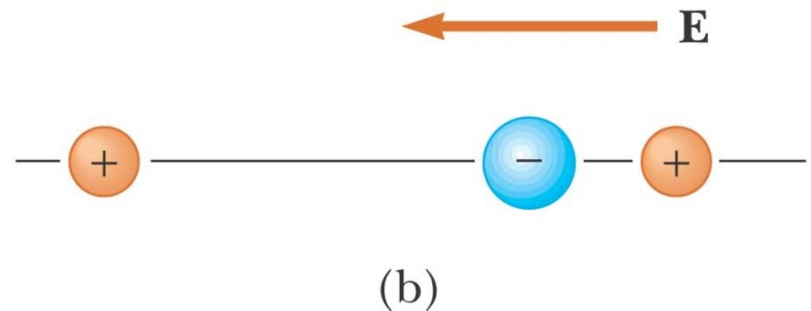
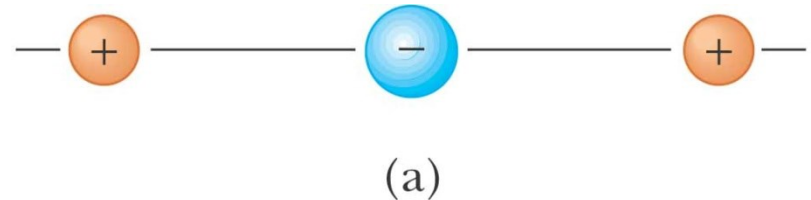


Moléculas Polares y Dipolos eléctricos

- Las posiciones promedio de las cargas positivas y negativas de una molécula actúan como si fueran cargas puntuales
- De esta forma, las moléculas polares pueden ser modeladas como si se tratara de dipolos eléctricos

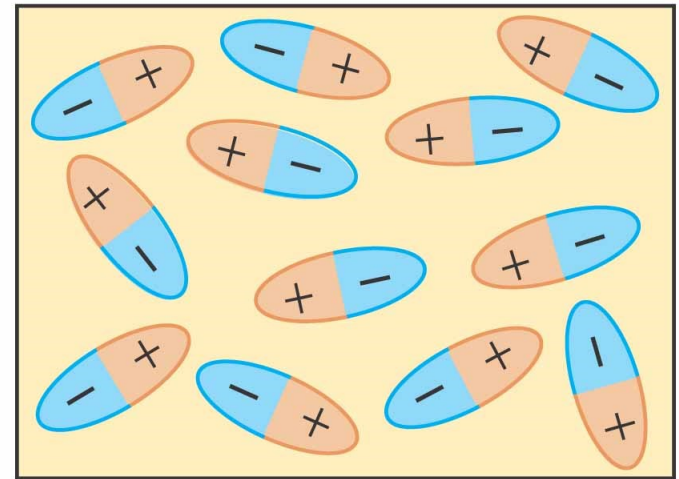
Polarización Inducida

- Una molécula simétrica no tiene polarización permanente (a)
- La polarización se induce colocando a esta molécula en un campo eléctrico (b)
- La polarización inducida es el efecto que predomina en la mayoría de los materiales que se usan como dieléctricos en los capacitores.



Dieléctricos – una vista microscópica

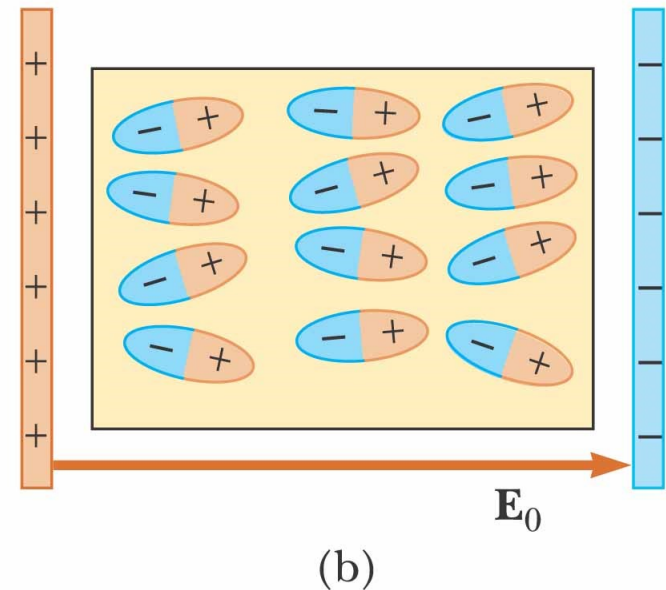
- Las moléculas que constituyen a un dieléctrico se pueden modelar como dipolos
- En ausencia de campo eléctrico orientan sus dipolos aleatoriamente

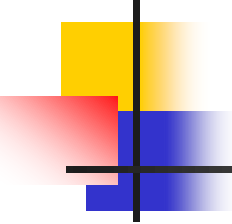


(a)

Dieléctricos

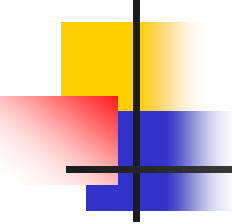
- Ahora, en situación de campo eléctrico
- Existe una torca sobre las moléculas
- Las moléculas (ahora dipolos) se alinean parcialmente con el campo





Dieléctricos

- El grado de alineamiento de las moléculas con el campo dependerá de la temperatura y de la magnitud del campo
- En general,
 - El alineamiento incrementa cuando la temperatura disminuye
 - También incrementa el alineamiento cuando se incrementa la magnitud del campo eléctrico

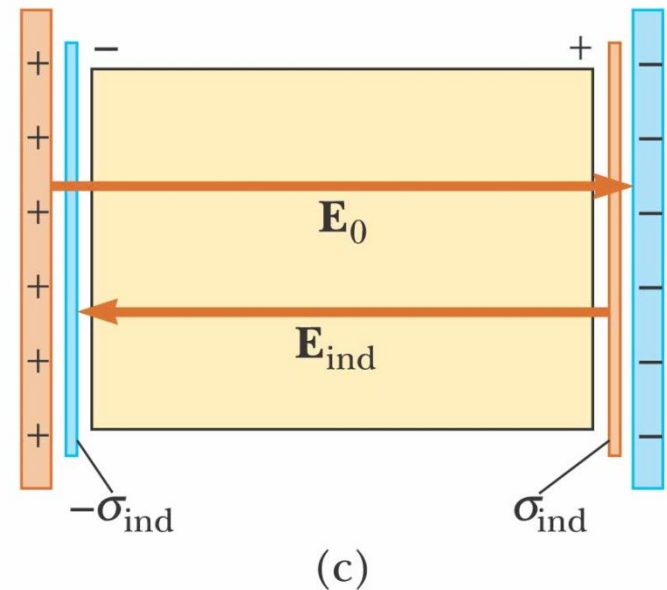


Dieléctricos – 4

- Si las moléculas de un dieléctrico son moléculas no polares, el campo eléctrico consigue producir alguna separación de cargas.
- Lo anterior se denomina ***momento dipolar inducido***.
- El efecto es a partir de esto comparable con el que se encuentra en sistemas polares.

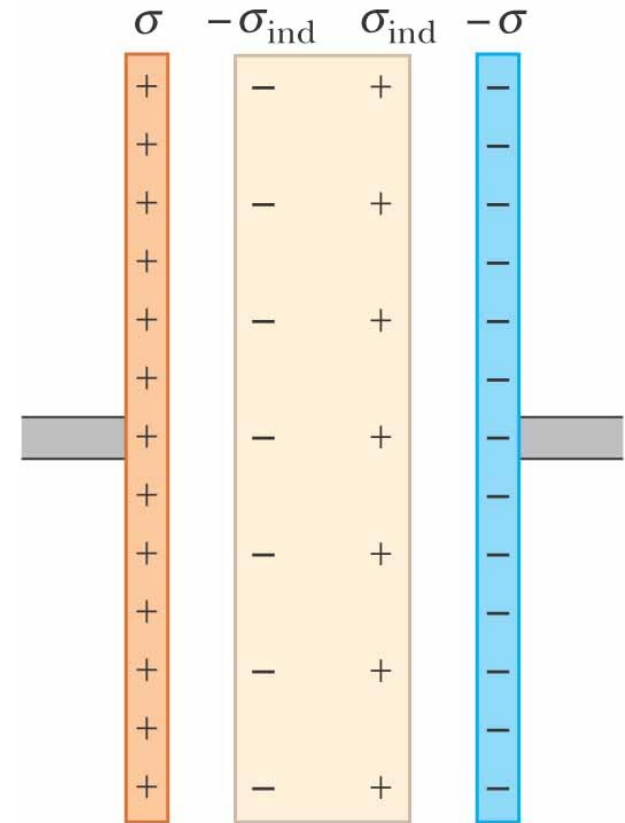
Dieléctricos, final

- El campo eléctrico es capaz de polarizar al dieléctrico independientemente de que las moléculas sean polares o no
- Las cargas de los bordes del dieléctrico, en la vecindad de las placas del capacitor, actúan como segundas placas capaces de producir un campo eléctrico en dirección opuesta a aquella de provoca la polarización inicial.



Carga inducida y campo eléctrico.

- Existe un campo debido a las placas del capacitor, este campo está dirigido hacia la derecha y provoca cierta polarización en el dieléctrico
- El efecto neto sobre el dieléctrico es una carga superficial inducida que resulta en un campo eléctrico inducido.
- Si el dieléctrico fuera reemplazado por un conductor, en campo neto dentro de las placas sería cero.





Geometría de algunos capacitores

Table 26.2

Capacitance and Geometry		
Geometry	Capacitance	Equation
Isolated sphere of radius R (second spherical conductor assumed to have infinite radius)	$C = 4\pi\epsilon_0 R$	26.2
Parallel-plate capacitor of plate area A and plate separation d	$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$	26.3
Cylindrical capacitor of length ℓ and inner and outer radii a and b , respectively	$C = \frac{\ell}{2k_e \ln(b/a)}$	26.4
Spherical capacitor with inner and outer radii a and b , respectively	$C = \frac{ab}{k_e (b - a)}$	26.6