Tutoral de Laboratorio de Fisica II para QB

Webpage: http://paginas.fisica.uson.mx/qb

Universidad de Sonora

Practica 4:Capacitancia

Objetivos:

1. Comprender que la función básica del condensador es almacenar carga eléctrica.
2. Observar el efecto que tiene un material dieléctrico sobre la capacitancia de un condensador y medir la constante dieléctrica de dicho material.
3. Investigar las leyes de los condensadores que se conectan en serie y en par

Conceptos básicos requeridos

1. El capacitor.
2. Calculo de la capacitancia.
3. Constante dieléctrica; permisividad.
4. Capacitores en serie y en paralelo.
5. Energía de un capacitor cargado.

Limitaciones al cargar un capacitor.

Los capacitores son dispositivos usados comúnmente en una gran variedad de circuitos eléctricos.

Se usan, por ejemplo, para ajustar la frecuencia de recepción de señales de radiofrecuencia, como filtros en fuentes de poder, para eliminar el ruido en los sistemas de encendido de los automóviles, para hacer funcionar las lámparas de destello ("flashes") de las cámaras fotográficas, etc.

Un capacitor consiste de dos conductores separados por un aislante y su capacidad depende de la geometría y del material (llamada dieléctrico) que separa los conductores.

Limitaciones al cargar un capacitor.

Una de las limitaciones que se tienen al cargar un capacitor es el voltaje máximo que se puede aplicar al capacitor, el cual está relacionado con el dieléctrico (o aislante) que se coloca entre sus placas.

Este voltaje máximo es producto de la resistencia o rigidez dieléctrica que caracteriza a los materiales aislantes, incluido el aire, y que indica el valor máximo del campo dieléctrico que puede soportar sin perforaciones, lo que originaría una trayectoria conductora de carga (descargando el capacitor).

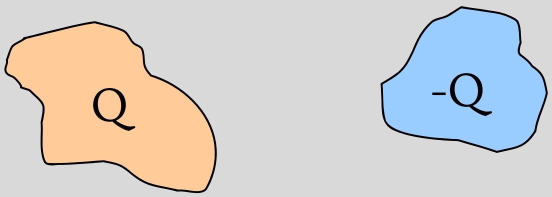
Limitaciones al cargar un capacitor.

En la tabla siguiente se presenta la resistencia (o rigidez) dieléctrica (medida a temperatura ambiente) para algunos materiales aislantes.

Material	**Rigidez dieléctrica (V/m)**
Aire seco (a 1 atm)	3×10^6
Porcelana	4×10^6-5.7×10^6
Titanio de Estroncio, Cuarzo fundido	8×10^6
Parafina	10×10^6
Aceite de transformadores, Neopreno	12×10^6
Cristal Pyrex, Nylon	14×10^6
Papel	16×10^6
Poliestireno, Baquelita	24×10^6
Teflón	60×10^6
Mica	10×10^6-160×10^6
Vacío	∞

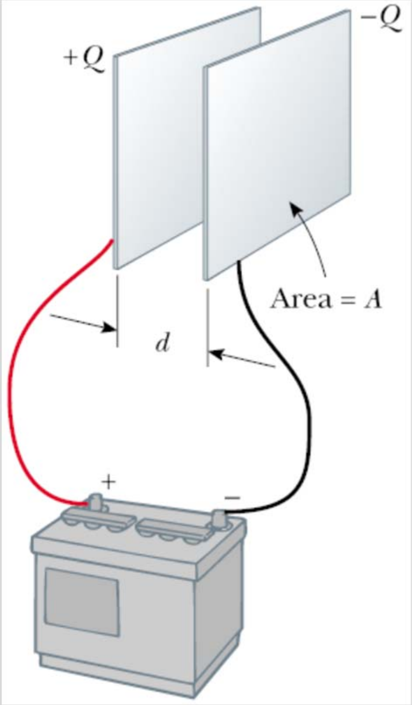
El capacitor.

El capacitor es un arreglo de dos conductores que tienen cargas de igual magnitud pero de signo opuesto se conoce como capacitor, y a los conductores que lo forman se les llama placas.



Debido a la presencia de cargas, existe una diferencia de potencial (o voltaje) ΔV entre los conductores.

Experimentalmente se encuentra que la cantidad de carga Q en los conductores es directamente proporcional a esta diferencia de potencial o voltaje, lo que se puede escribir como $Q=C\Delta V$ donde la constante de proporcionalidad C se le llama capacitancia.



El capacitor.

La capacitancia C de un capacitor es la razón entre la magnitud de la carga Q en cualquiera de los dos conductores y la magnitud de la diferencia de potencial ΔV entre ellos, a saber

$$\boxed{C \equiv \frac{Q}{\Delta V}}$$

Al definirse como el cociente de dos magnitudes, la capacitancia resulta ser siempre una cantidad positiva.

La unidad de capacitancia en el SI es el Faradio (F) el cual es equivalente a 1 Coulomb/Voltio.

El Faradio es una unidad de capacitancia muy grande, por lo que en la práctica los capacitores comerciales tienen capacitancias que varían de los microfaradios ($\mu F=10^{-6}F$) a los picofaradios ($pF=10^{-12}F$).

El capacitor.

La capacitancia de un capacitor (o condensador) depende de dos factores importantes:

1. La disposición geométrica de los conductores, que incluyen la forma y el espaciamiento de las placas, al igual que sus relaciones geométricas.

2. Las propiedades del medio en que están dichos conductores (aire, vacío, material aislante o dieléctrico, etc.).

A continuación se estudiará el problema de cómo la capacitancia depende de la configuración geométrica (factor 1), y posteriormente se verá el efecto que tiene en la capacitancia la introducción de un dieléctrico entre las placas del capacitor (factor 2).

Cálculo de la capacitancia.

Para el cálculo de la capacitancia se procede de la siguiente manera:

1. Se supone una carga $+Q$ en las placas del capacitor
2. Se evalúa el campo eléctrico a lo largo de una línea que une a los dos conductores, generalmente mediante el empleo de la *Ley de Gauss*.
3. Una vez obtenido el campo eléctrico, se calcula la diferencia de potencial a lo largo de la misma trayectoria, para ello se escoge la trayectoria que simplifique el cálculo de la integral involucrada.
4. Finalmente se calcula la capacitancia como la razón entre la carga depositada Q y la diferencia de potencial encontrada en el punto anterior.

Al momento de realizar este cálculo uno encuentra que la capacitancia es independiente de la carga y de la diferencia de potencial y sólo depende de la *geometría* del capacitor.

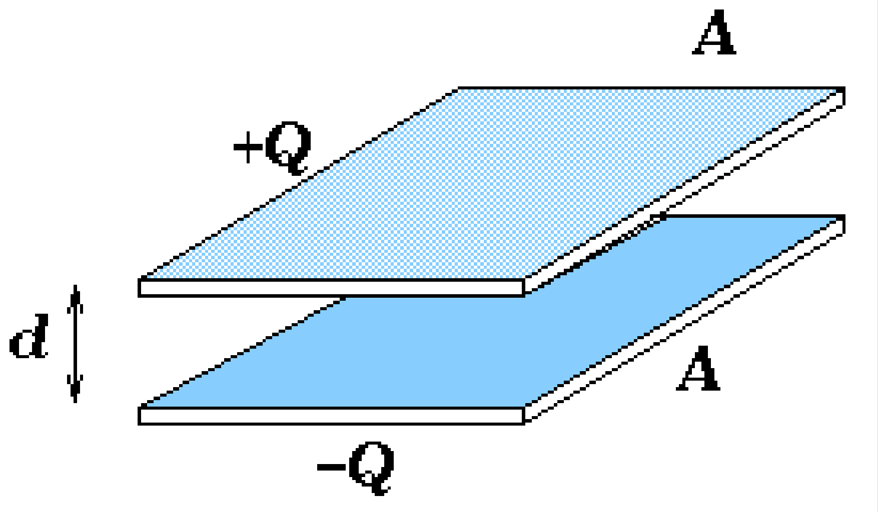
En lo que sigue presentamos algunas configuraciones típicas y su respectiva capacitancia.

Cálculo de la capacitancia.

Capacitor de placas paralelas

Siguiendo las ideas mencionadas anteriormente para el cálculo de la capacitancia, podemos calcularla para el caso en que tengamos un capacitor de placas planas paralelas. En este caso se encuentra que

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{\sigma A}{\left(\dfrac{\sigma}{\varepsilon_0} d\right)}$$



lo que permite escribir

$$\boxed{C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}}$$

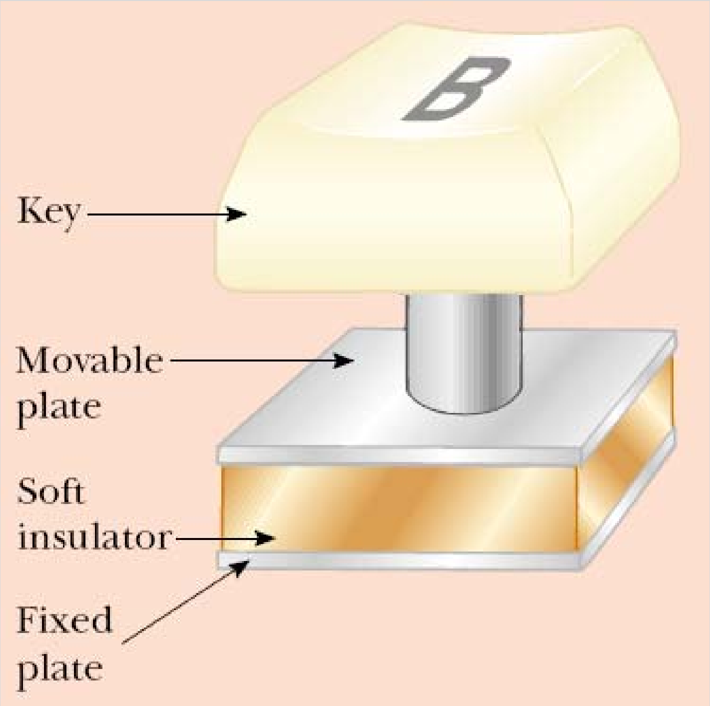
donde A es el área de las placas, d es la separación entre ellas y ε_0 es la permitividad del vacío.

Cálculo de la capacitancia.

Capacitor de placas paralelas

Una aplicación de los capacitores de placas planas paralelas la encontramos en muchos de los teclados para computadoras.

En este tipo de teclados las teclas están conectadas a un capacitor de área A fija, pero que puede varias su separación d.



Cuando la tecla es presionada, la separación d disminuye haciendo que la capacitancia aumente de acuerdo con

$$C = \frac{\kappa \varepsilon_0 A}{d}$$

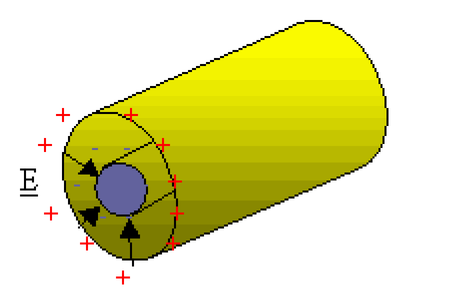
donde κ es una constante que depende del material que se coloca entre las placas. Este cambio de la capacitancia C es interpretado por la computadora para proceder en consecuencia.

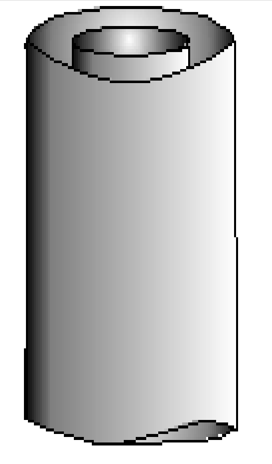
Cálculo de la capacitancia.

Capacitor cilíndrico

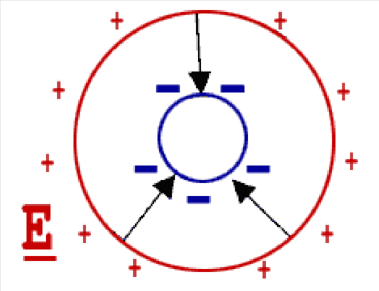
Para el caso de un capacitor cilíndrico de largo L y con radios interior y exterior r_i y r_e, respectivamente, se encuentra que la capacitancia está dada por

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{\left(\frac{2k_e Q}{L}\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)\right)} = \frac{L}{2k_e \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}$$





Cylindrical Capacitor



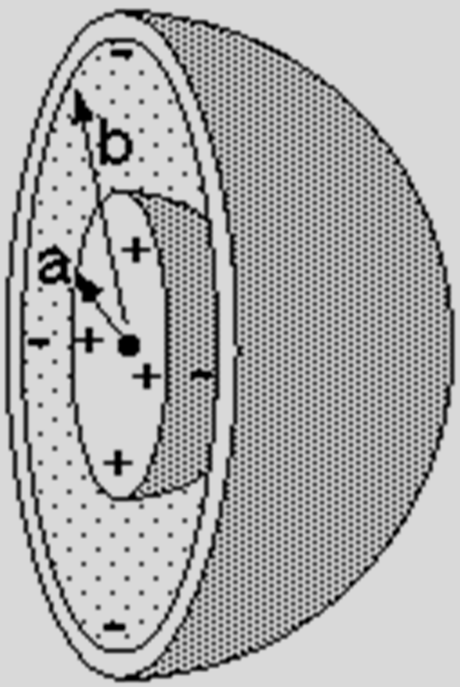
que puede escribirse como

$$\boxed{C = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln\left(r_e/r_i\right)}}$$

donde L es el largo del cilindro, r_i y r_e son los radios interior y exterior, respectivamente y ε_0 es la permitividad del vacío.

Cálculo de la capacitancia.

Capacitor esférico



Para el caso de un capacitor esférico de radios interior y exterior a y b, respectivamente, se encuentra que la capacitancia está dada por

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

que podemos escribir como

$$\boxed{C = \frac{4\pi\varepsilon_0 ab}{(b-a)}}$$

donde a y b son los radios interior y exterior, respectivamente y ε_0 es la permitividad del vacío.

Cálculo de la capacitancia.

Resumiendo...

Para un conductor esférico aislado de radio R

$$C = 4\pi\varepsilon_0 R$$

Para un capacitor de placas planas paralelas de área A y separación d

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

Para un capacitor cilíndrico de largo L de radios interior y exterior r_i y r_e, respectivamente

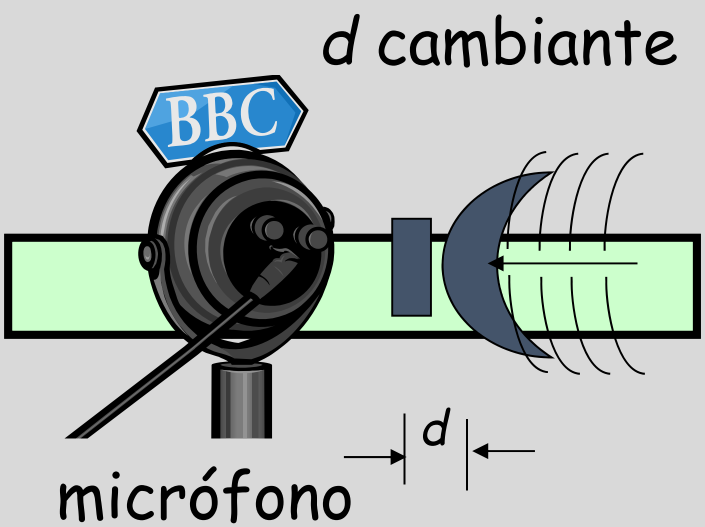
$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln\left(r_e / r_i \right)}$$

Para un capacitor esférico de radios interior y exterior r_i y r_e, respectivamente

$$C = \frac{4\pi\varepsilon_0 r_i r_e}{(r_e - r_i)}$$

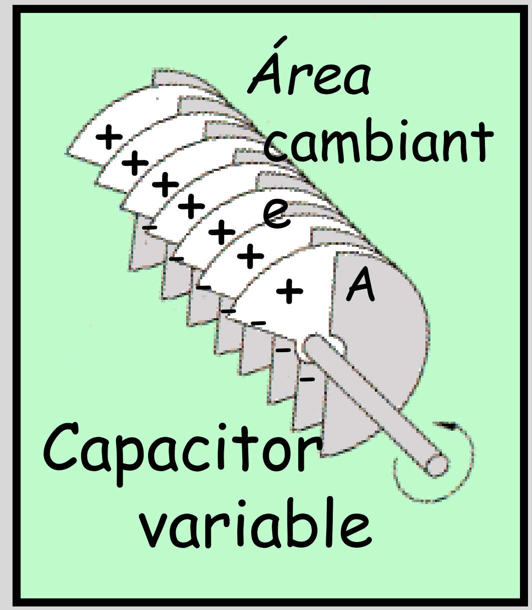
Aplicaciones de los capacitores

Un micrófono convierte las ondas sonoras en una señal eléctrica (voltaje variable) al cambiar *d*.



$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

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

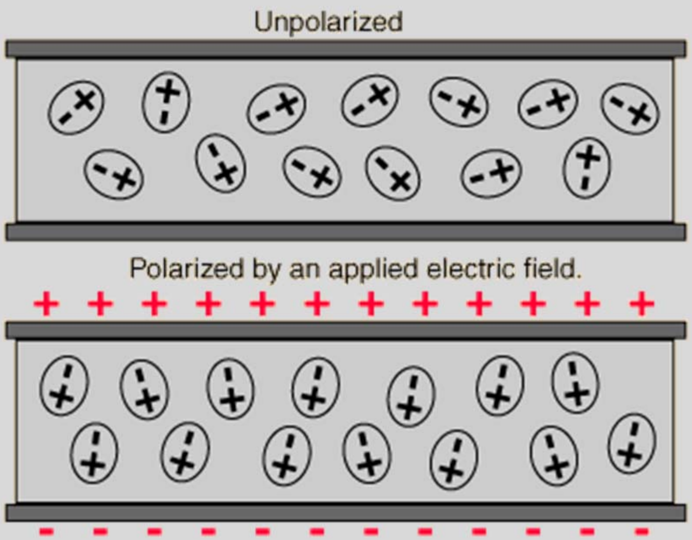


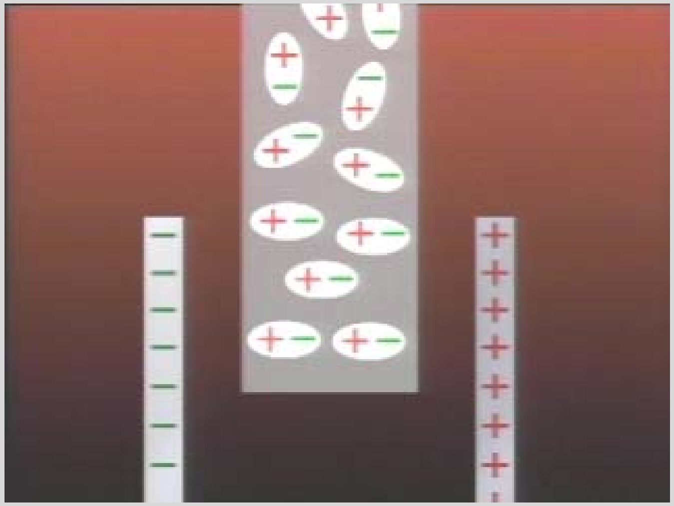
El sintonizador en un radio es un capacitor variable. El área cambiante *A* altera la capacitancia hasta que se obtiene la señal deseada.

Constante dieléctrica; permisividad

Un dieléctrico es un material no conductor, como el caucho, el vidrio o el papel encerado, y que tiene la propiedad de ser polarizable.

Pero, ¿qué es ser polarizable? Si un material contiene molecular polares, estas generalmente tendrán una orientación aleatoria cuando no se le aplica un campo eléctrico externo. Un campo eléctrico polarizará el material orientando los momentos dipolares de las moléculas polares en la dirección del campo aplicado.



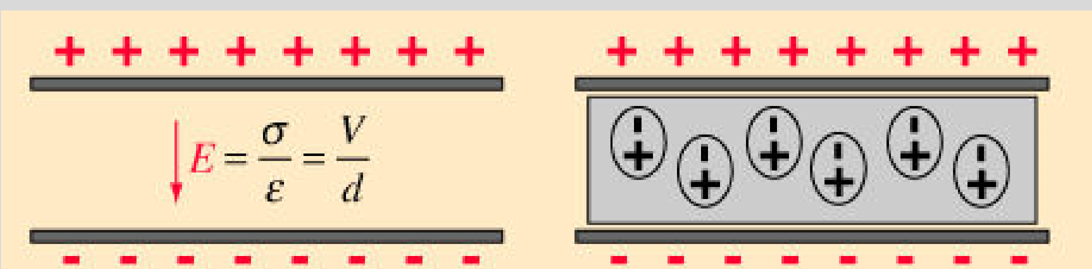


Constante dieléctrica; permisividad

El empleo de los dieléctricos y de su polarizabilidad para llenar el espacio entre las placas de un capacitor permite modificar el campo eléctrico y por lo tanto la cantidad de carga que puede almacenarse.

En particular, la capacitancia de un conjunto de placas paralelas cargadas se incrementa mediante la inserción de un material dieléctrico, ya que la capacitancia es inversamente proporcional al campo eléctrico entre las placas, y la presencia del dieléctrico reduce el campo eléctrico efectivo.

El dieléctrico se caracteriza por una constante dieléctrica k, de forma que la capacitancia es amplificada por este factor.



$$\vec{E}_{\text{efectivo}} = \vec{E} - \vec{E}_{\text{polarización}} = \frac{\sigma}{\kappa \varepsilon_0}$$

Constante dieléctrica; permisividad

Con lo anterior, podemos concluir que el empleo de un dieléctrico en un capacitor brinda las siguientes ventajas:

- Aumenta la capacitancia;
- Aumenta el voltaje de operación; y
- Permite que las placas estén muy juntas sin tocarse, de modo que disminuye d y aumenta (aún más) C.

Esto permite establecer que la capacitancia ahora es

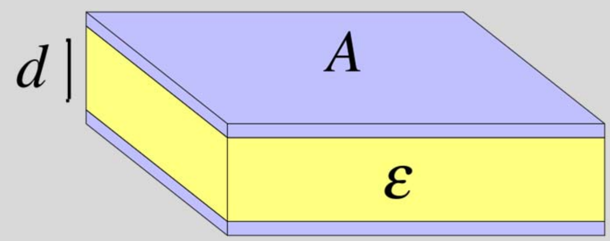
$$\boxed{C = \kappa C_0}$$

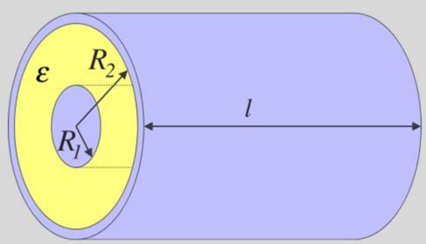
donde C es la capacitancia con dieléctrico, k es la constante dieléctrica que para el vacío es igual a 1 (para los diferentes materiales dieléctricos es mayor que 1), mientras que C_0 es la capacitancia considerando que el vacío llena el espacio entre las placas.

Constante dieléctrica; permisividad

Es importante notar que C_0 está dada por las expresiones encontradas anteriormente para los distintos tipos de capacitores; así que las expresiones que ahora tenemos son las siguientes:

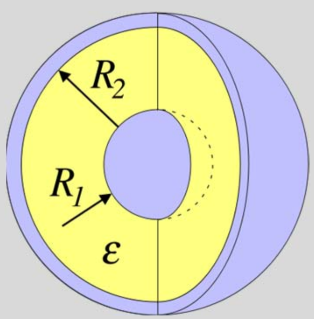
Capacitor de placas planas: $C = \dfrac{\kappa \varepsilon_0 A}{d} = \dfrac{\varepsilon A}{d}$





Capacitor cilíndrico: $C = \dfrac{2\pi\kappa\varepsilon_0 L}{\ln\left(R_2/R_1\right)} = \dfrac{2\pi\varepsilon L}{\ln\left(R_2/R_1\right)}$

Capacitor esférico: $C = \dfrac{4\pi\kappa\varepsilon_0 R_1 R_2}{(R_2 - R_1)} = \dfrac{4\pi\varepsilon R_1 R_2}{(R_2 - R_1)}$



Constante dieléctrica; permisividad

Tabla con los valores de la constante dieléctrica κ para algunos materiales comunes.

Table 26.1

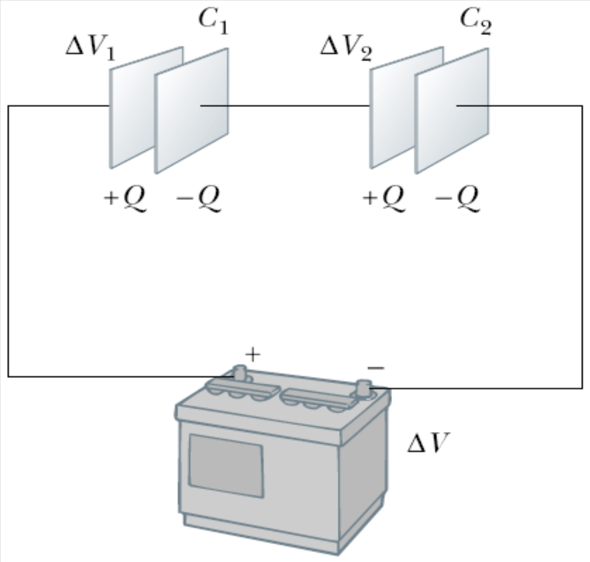
Approximate Dielectric Constants of Various Materials at Room Temperature

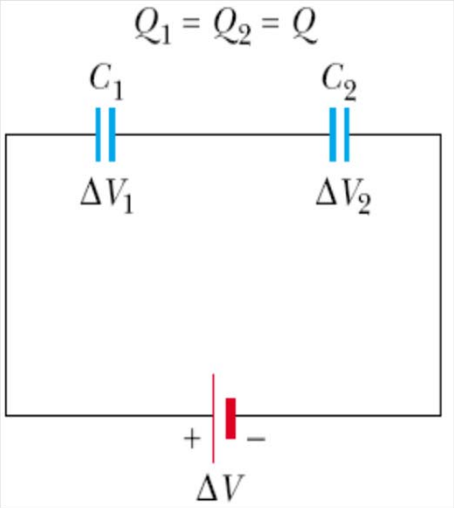
Material	Dielectric Constant κ
Air (dry)	1.000 59
Bakelite	4.9
Fused quartz	3.78
Mylar	3.2
Neoprene rubber	6.7
Nylon	3.4
Paper	3.7
Paraffin-impregnated paper	3.5
Polystyrene	2.56
Polyvinyl chloride	3.4
Porcelain	6
Pyrex glass	5.6
Silicone oil	2.5
Strontium titanate	233
Teflon	2.1
Vacuum	1.000 00
Water	80

Capacitores en serie y en paralelo.

Capacitores en serie

Dos capacitores conectados como se muestra, y su diagrama de circuito equivalente, se conoce como una conexión de capacitores en serie.





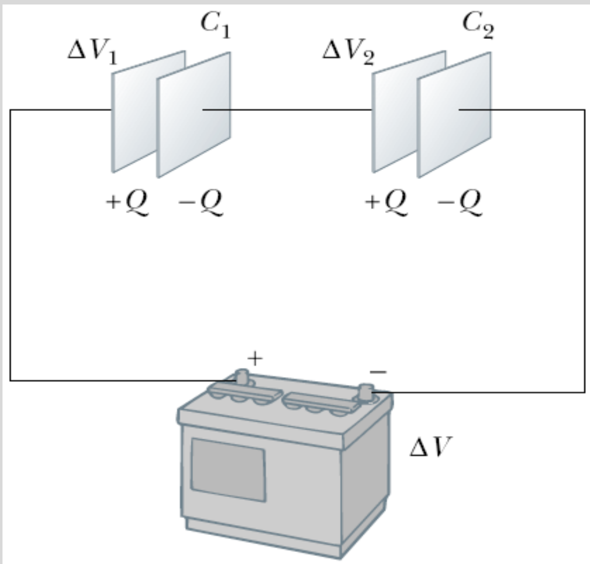
La placa izquierda del capacitor C_1 y la placa derecha del capacitor C_2 están conectadas a las terminales de positiva y negativa de la batería, respectivamente.

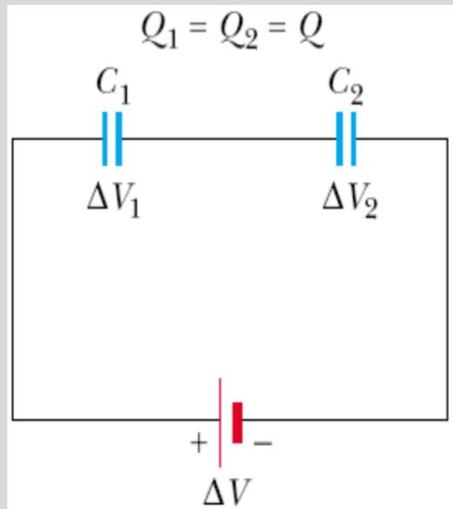
Las otras dos placas están conectadas entre sí, e inicialmente descargadas, <u>deben</u> permanecer con carga neta cero, lo que nos lleva a afirmar que las cargas de ambos capacitores son iguales.

Capacitores en serie y en paralelo.

Capacitores en serie

Cuando la batería se conecta al circuito, se transfieren electrones de la placa izquierda de C_1 hacia la placa derecha de C_2, lo que induce cargas de signos opuestos en las placas aisladas.





Por otro lado, la diferencia de potencial de la batería se divide entre ambos capacitores, es decir

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

que, usando la definición de capacitancia ($C = Q/\Delta V$), podemos escribir como

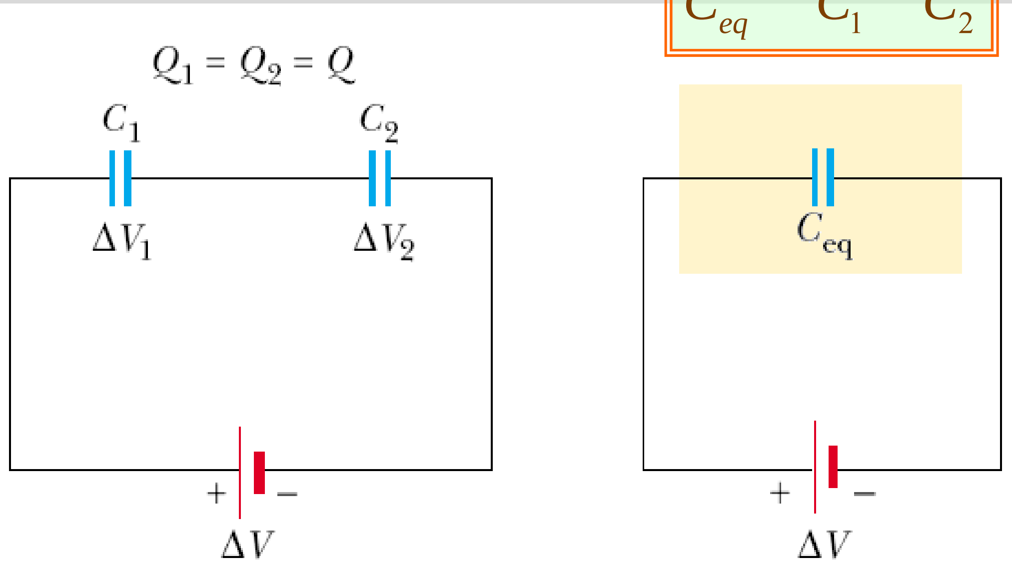
$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

Capacitores en serie y en paralelo.

Capacitores en serie

Lo anterior permite establecer que la capacitancia equivalente del circuito es

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



El significado de C_{eq} corresponde al hecho de que los capacitores C_1 y C_2 pueden ser sustituidos por una capacitancia C_{eq}, tal como se muestra.

En el caso en que se tiene mas de dos capacitores, también se puede aplicar el procedimiento anterior para encontrar una expresión general para la capacitancia equivalente.

Capacitores en serie y en paralelo.

Capacitores en serie

En general, cuando se tiene mas de dos capacitores conectados en serie, podemos demostrar que

- la carga es la misma para todos los capacitores conectados en serie

$$\boxed{Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \ldots = Q_N = Q}$$

- la diferencia de potencial total a través de cualquier número de capacitores conectados en serie es la suma de las diferencias de potencial a través de cada uno de los capacitores

$$\boxed{\Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 + \Delta V_4 + \ldots. + \Delta V_N = \Delta V}$$

Capacitores en serie y en paralelo.

Capacitores en serie

Los resultados anteriores permiten establecer una relación general para la capacitancia equivalente de un conjunto de N capacitores en serie:

$$\boxed{\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \ldots + \frac{1}{C_N} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{C_i}}$$

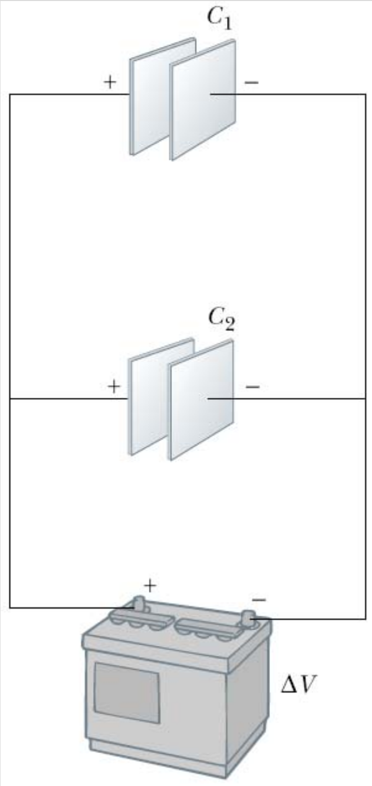
Esta relación nos dice que el inverso de la capacitancia equivalente es la suma de los inversos de las capacitancias de cada uno de los capacitores conectados en serie.

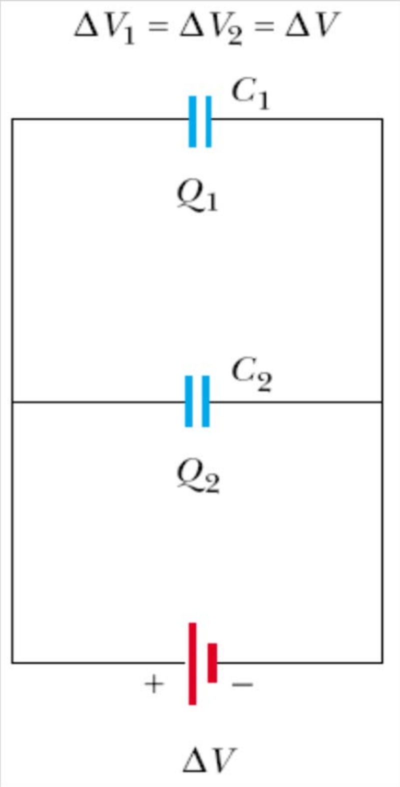
A partir de la expresión anterior se encuentra que la capacitancia equivalente de un arreglo de capacitores en serie siempre es menor que cualquiera de las capacitancias individuales.

CAPACITORES EN SERIE Y EN PARALELO.

Capacitores en paralelo

Dos capacitores conectados como se muestra, y su diagrama de circuito equivalente, se conoce como una conexión de capacitores en paralelo.





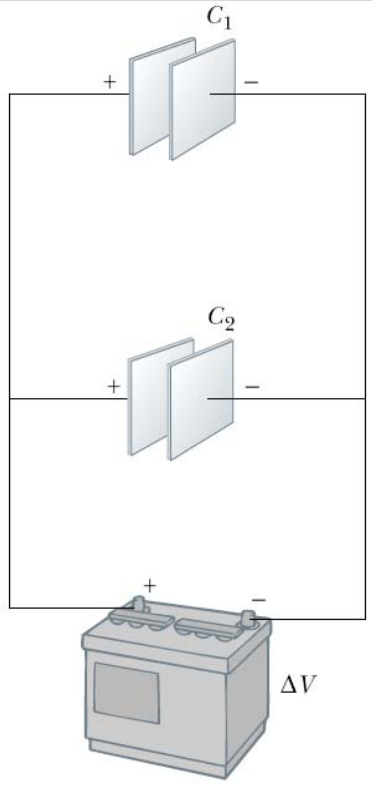
Las placas izquierdas de ambos capacitores están conectadas entre sí y a su vez a la terminal positiva de la batería; similarmente, las placas derechas están conectadas entre sí y a su vez a la terminal negativa de la batería.

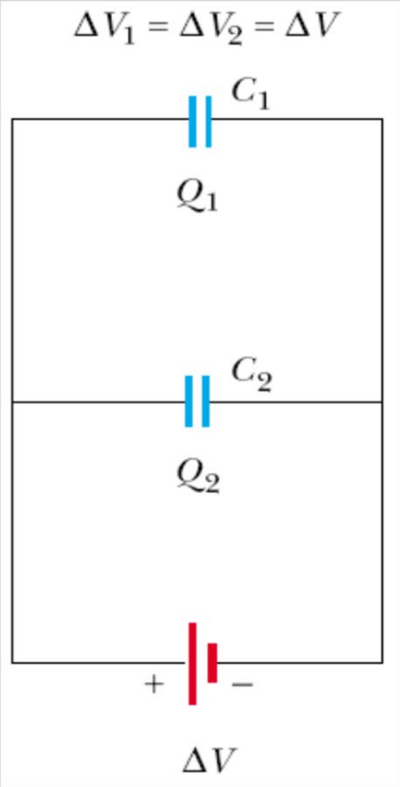
Lo anterior nos lleva a afirmar que ambos capacitores tienen la misma diferencia de potencial que la batería.

CAPACITORES EN SERIE Y EN PARALELO.

Capacitores en paralelo

Cuando la batería se conecta al circuito, se transfieren electrones entre las placas y la batería, lo que deja cargadas positiva y negativamente a las placas de los capacitores.





Esta transferencia cesa cuando el voltaje a través de los capacitores es igual al voltaje a de las terminales de la batería, con esto los capacitores alcanzan la carga máxima Q_1 y Q_2, respectivamente.

Con ello, la carga total Q almacenada por los capacitores es

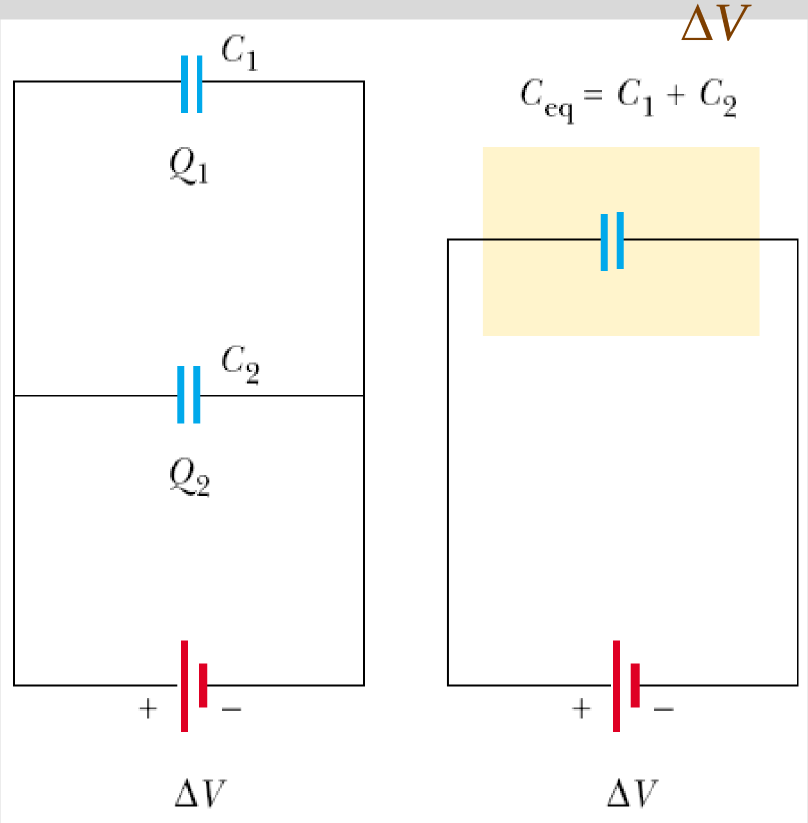
$$Q = Q_1 + Q_2$$

CAPACITORES EN SERIE Y EN PARALELO.

Capacitores en paralelo

Si dividimos esta relación de cargas entre la diferencia de voltaje ΔV tenemos

$$\frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q_1}{\Delta V} + \frac{Q_2}{\Delta V}$$



Usando la definición de capacitancia (C=Q/ΔV) podemos establecer que la capacitancia equivalente del circuito es

$$\boxed{C_{eq} = C_1 + C_2}$$

El significado de C_{eq} corresponde al hecho de que los capacitores C_1 y C_2 pueden ser sustituidos por una capacitancia C_{eq}, tal como se muestra.

CAPACITORES EN SERIE Y EN PARALELO.

Capacitores en paralelo

En el caso en que se tiene mas de dos capacitores, es posible aplicar el procedimiento anterior para encontrar una expresión para la capacitancia equivalente.

En general, cuando se tienen capacitores conectados en paralelo, podemos demostrar que

- la diferencia de potencial es la misma para todos los capacitores

$$\boxed{\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3 = \Delta V_4 = \ldots = \Delta V_N = \Delta V}$$

- la carga total almacenada en el arreglo es la suma de las cargas almacenadas en cada uno de los capacitores

$$\boxed{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \ldots. + Q_N = Q}$$

CAPACITORES EN SERIE Y EN PARALELO.

Capacitores en paralelo

Los resultados anteriores permiten establecer una relación general para la capacitancia equivalente de un conjunto de N capacitores conectados en paralelo:

$$\boxed{C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \ldots + C_N = \sum_{i=1}^{N} C_i}$$

Esta relación nos dice que la capacitancia equivalente es la suma de las capacitancias de cada uno de los capacitores conectados en paralelo.

A partir de la expresión anterior se encuentra que la capacitancia equivalente de un arreglo de capacitores en paralelo siempre es mayor que cualquiera de las capacitancias individuales.

Practica #1

Objetivos:

1. Comprender que la función básica del condensador es almacenar carga eléctrica.
2. Observar el efecto que tiene un material dieléctrico sobre la capacitancia de un condensador y medir la constante dieléctrica de dicho material.
3. Investigar las leyes de los condensadores que se conectan en serie y en paralelo.

Materiales:

1. Botella de Leyden.
2. 2. Generador de carga.
3. 3. Descargador de botella de Leyden. (Puede ser un cable con forro aislante).
4. Condensador de placas paralelas.
5. Capacitómetro.
6. Llaves allen.
7. Cables para conexión.
8. Cuatro condensadores comerciales
9. Material dieléctrico (acrílico, madera, vidrio, etc.)