1.4-CAPACITANCIA Y DIELÉCTRICOS

Cuando un paciente recibe una descarga eléctrica desde un desfibrilador, La energía liberada incialmente proviene de un capacitor

Pieter van Musschenbroek
(1692-1761)
Inventor de la “Botella de Leyden” primer capacitor

INTRODUCCIÓN

Un ***capacitor o condensador*** es un dispositivo que almacena energía potencial *eléctrica y carga* eléctrica.

Fabricación de un capacitor: basta aislar dos conductores uno del otro, y para almacenar energía en este dispositivo hay que transferir carga de un conductor al otro, de manera que uno tenga carga negativa y otro igual cantidad igual de carga positiva.

Como debe realizarse trabajo para trasladar las cargas a través de la diferencia de potencial resultante entre los conductores, **el trabajo efectuado se almacenará como energía potencial eléctrica.**

Aplicaciones prácticas: flash fotográfico, láseres pulsados, sensores de bolsas de aire para automóviles, receptores de radio y televisión, en circuitos de corriente alterna.

Para un capacitor en particular, la razón entre la carga de cada conductor y la diferencia de potencial entre los conductores es una constante llamada ***capacitancia****.*

***La capacitancia depende de las dimensiones y las formas de los conductores* y del material aislante (si lo hay) entre ellos**.

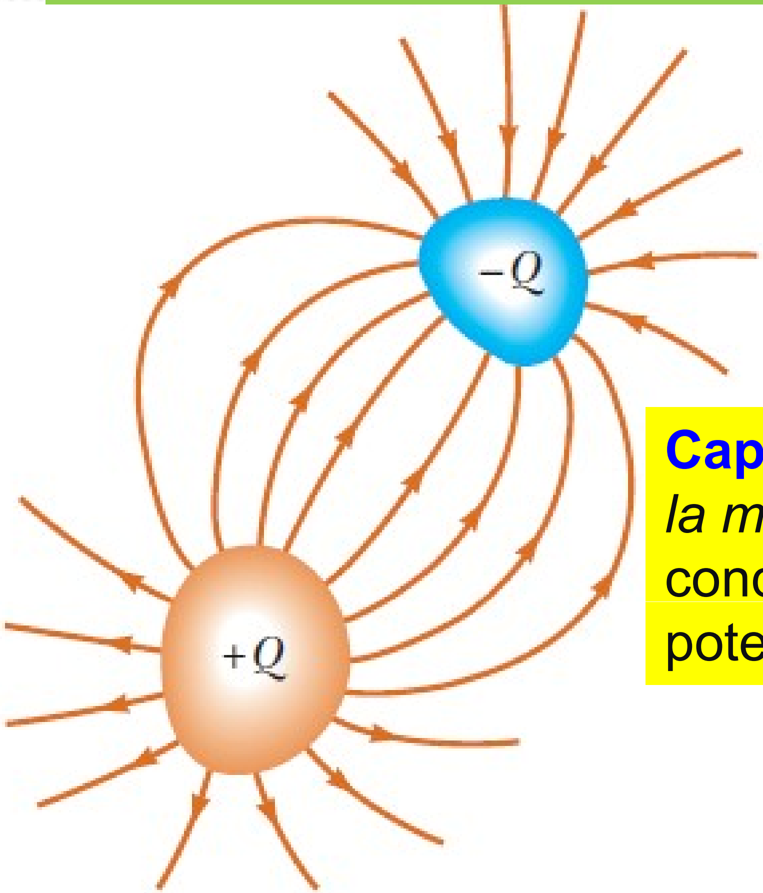
La capacitancia aumenta cuando está presente un material aislante (***dieléctrico****).*

Esto sucede porque en el interior del material aislante ocurre una redistribución de la carga, llamada ***polarización****.*

La energía almacenada en un capacitor con carga guarda relación con el campo eléctrico en el espacio entre los conductores.

Veremos que la **energía potencial eléctrica puede considerarse almacenada *en el campo mismo*,** lo cual es esencial en la teoría de las ondas electromagnéticas.

CAPACITORES Y CAPACITANCIA



Dos conductores separados por un aislante (o vacío) constituyen un **capacitor.** Los conductores son las *placas. Los conductores llevan* carga de igual magnitud y signo opuesto y existe una diferencia de potencial ΔV *entre ellos.*

Capacitancia C *de un capacitor: relación de la magnitud de* la carga en cualquiera de los conductores a la magnitud de la diferencia de potencial entre dichos conductores:

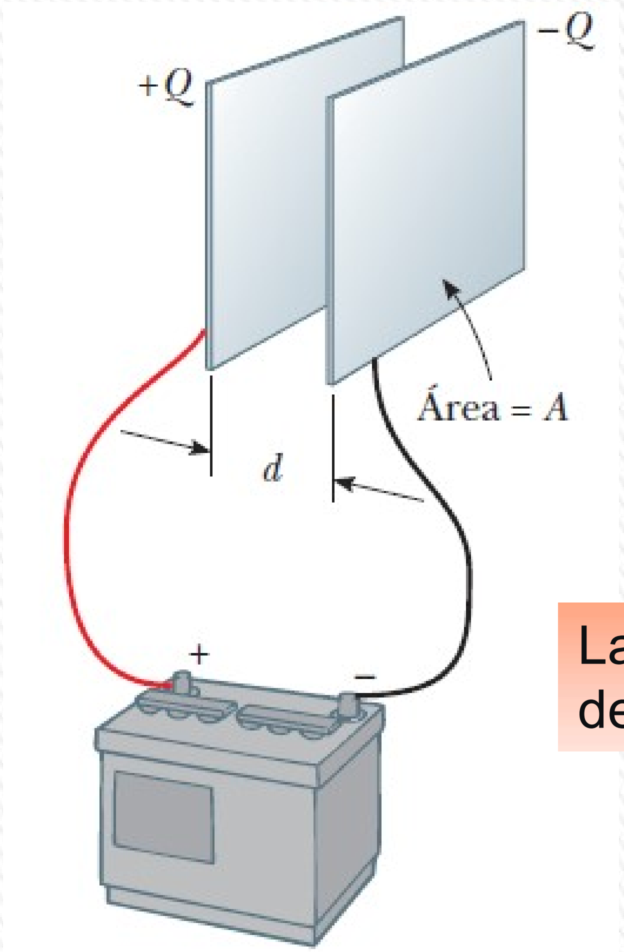
$$C \equiv \frac{Q}{V}$$

Aunque la carga total en el capacitor sea cero (debido a que existe tanta carga positiva en exceso en un conductor como existe carga negativa en exceso en el otro), es común referirse a la magnitud de la carga de cualquiera de los conductores como "**carga del capacitor**".

La *capacitancia siempre es una cantidad positiva.* *La carga Q y la* diferencia de potencial *V siempre se expresan como cantidades* positivas.

CAPACITORES Y CAPACITANCIA

Unidades del SI: se expresa en coulombs por cada volt, **farad (F)**, nombre puesto en honor de Michael Faraday: 1F = 1 C/V



Capacitor de placas paralelas: dos placas conductoras paralelas, cada una con una superficie *A*, separadas una distancia *d.*

Cuando se carga el capacitor al conectar las placas a las terminales de una batería, las placas adquieren cargas de igual magnitud. Una de las placas tiene carga positiva y la otra carga negativa.

La capacitancia depende sólo de la geometría del capacitor y del material entre las placas.

CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA

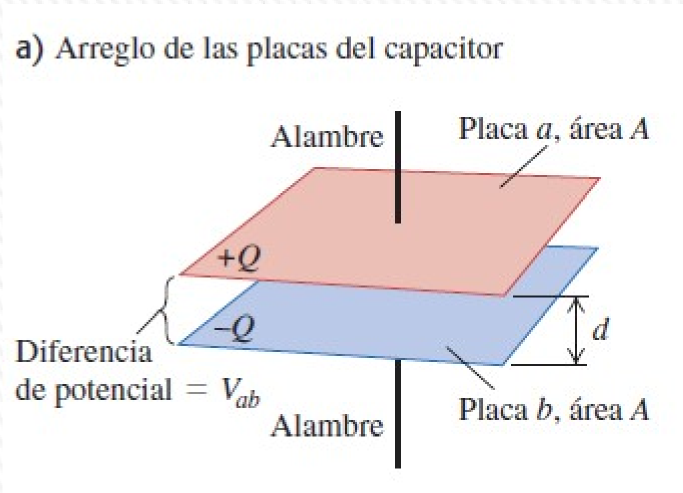
CAPACITOR DE PLACAS PLANAS PARALELAS

Dos placas metálicas paralelas de igual área *A están separadas por una distancia d.*

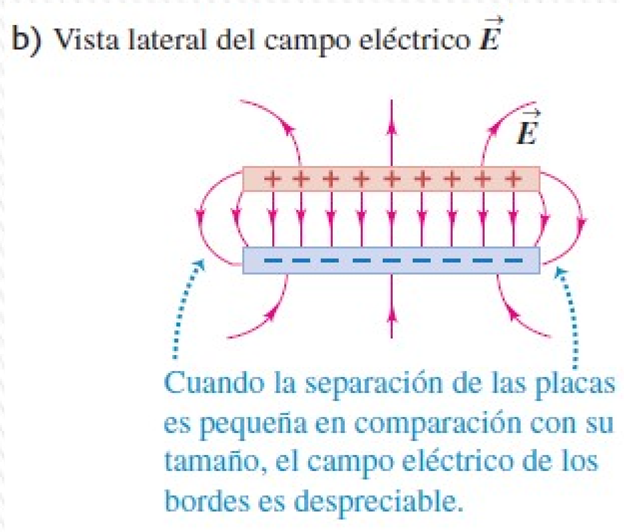
Una placa tiene una carga +*Q y la otra tiene una carga –Q.*

La densidad de carga superficial en cada placa es σ = *Q/A.*

Si las placas están muy juntas (en comparación con su longitud y ancho), se puede suponer que el campo eléctrico es uniforme entre las placas y cero en cualquier otra parte.



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



La capacitancia de un capacitor de placas paralelas es proporcional al área de sus placas e inversamente proporcional a la separación de las placas.

Cálculo de la capacitancia: Capacitores con vacío

Supondremos que los conductores que constituyen el capacitor están separados por un espacio vacío.

Además consideraremos que la separación entre las placas cas planas conductoras paralelas (de área *A), están separadas una distancia d, pequeña en comparación con sus* dimensiones.

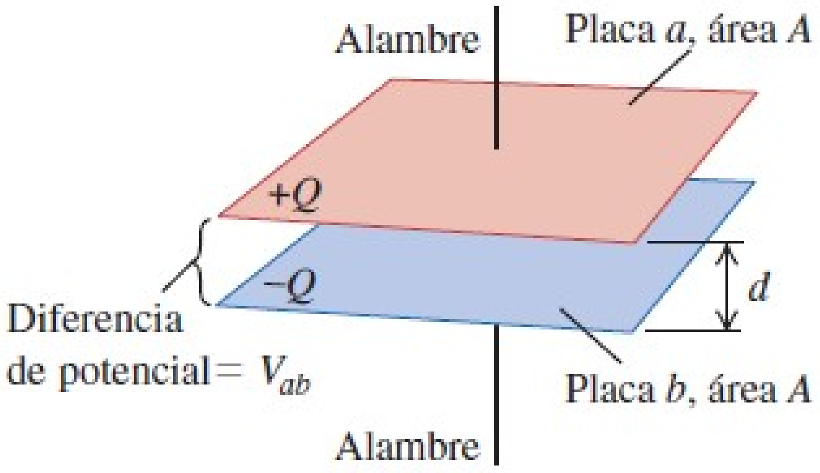
Cuando las placas tienen carga, el campo eléctrico está localizado casi por completo en la región entre las placas.

Modelamos el campo entre las placas como esencialmente *uniforme,* y las cargas en las placas se distribuyen de manera uniforme en las superficies opuestas

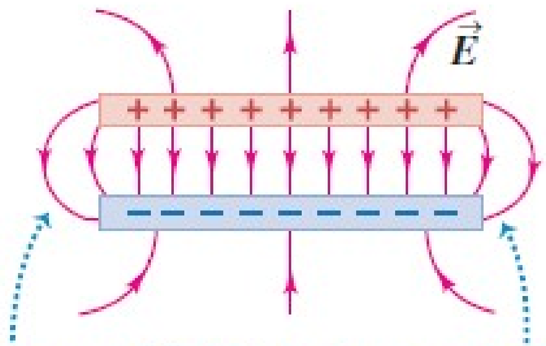
Campo entre las placas: $$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{A\varepsilon_0}$$

Campo uniforme, entonces *diferencia de* potencial (o voltaje) entre las dos placas es: $$V_{ab} = Ed = \frac{Qd}{A\varepsilon_0}$$

a) Arreglo de las placas del capacitor



b) Vista lateral del campo eléctrico $\vec{E}$



Cuando la separación de las placas es pequeña en comparación con su tamaño, el campo eléctrico de los bordes es despreciable.

Cálculo de la capacitancia: Capacitores con vacío

Entonces de acuerdo a la definición de capacitancia:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

$\varepsilon_0 = 8{,}85\times10^{-12}$ F/m

La capacitancia depende solo de la geometría del capacitor; es directamente proporcional al área *A de cada placa e inversamente proporcional a su separación d.*

Cuando hay materia entre las placas, sus propiedades afectan la capacitancia. Si el espacio entre las placas contiene aire a presión atmosférica en lugar de vacío, la capacitancia difiere de lo que predice la ecuación en menos del 0,06%.

MICRÓFONO DE CONDENSADOR: Si una de las placas del capacitor es flexible, la capacitancia *C se modifica conforme cambia la separación d de las placas:* principio de operación de un micrófono de condensador.

Las dos placas se mantienen con una diferencia de potencial constante V_{ab}. *Las ondas sonoras provocan que la placa* flexible se mueva hacia atrás y hacia adelante, lo que hace variar la capacitancia *C y ocasiona* que la carga fluya hacia y desde el capacitor de acuerdo con la relación $C = Q/V_{ab}$.

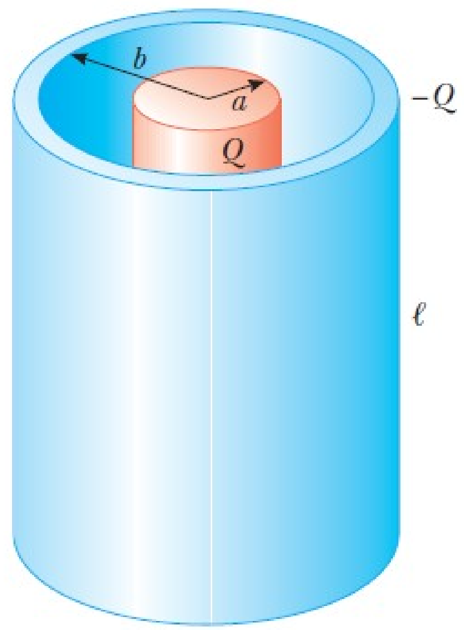
Así, la onda sonora se convierte en un flujo de carga que puede amplificarse y grabarse en forma digital.

CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA

CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA

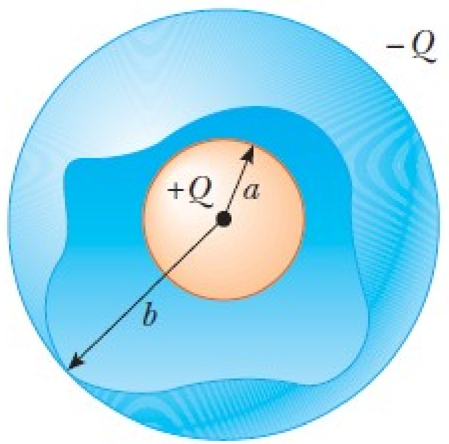
CAPACITOR CILÍNDRICO

Un capacitor cilíndrico consiste en un conductor cilíndrico sólido de radio *a y longitud rodeado* por un cascarón cilíndrico coaxial de radio *b.*



$$C = \frac{l}{2k_E \ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

CAPACITOR ESFÉRICO



Un capacitor esférico consiste en una esfera interior de radio *a rodeada por* una cubierta esférica concéntrica de radio *b. El campo eléctrico entre las* esferas se dirige radialmente hacia afuera cuando la esfera interior tiene carga positiva.

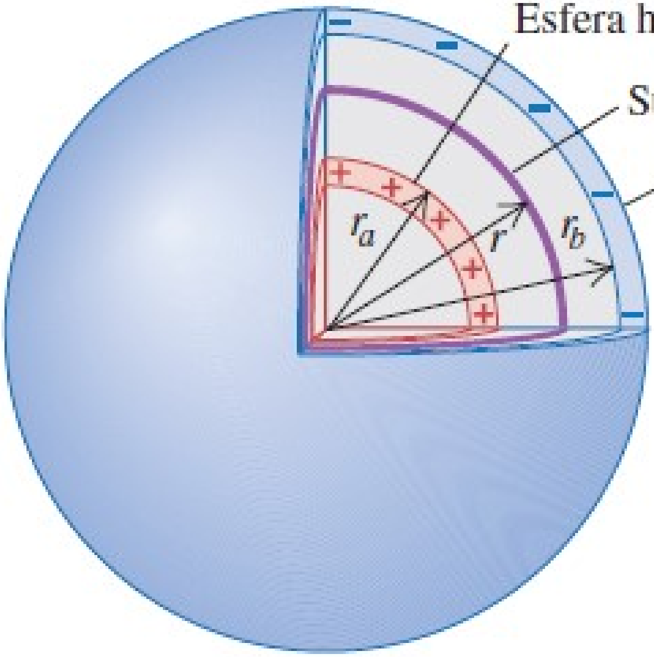
$$C = \frac{ab}{k_E\,(b-a)}$$

Esfera aislada de radio R: $$C = \frac{R}{k_E} = 4\pi\varepsilon_0 R$$

EJEMPLO: Capacitor esférico

Dos esferas huecas conductoras y concéntricas están separadas por vacío. La esfera hueca interior tiene una carga total +Q *y* radio exterior r_a, *y la esfera hueca exterior tiene carga -Q y radio interior* r^b.

Determine la capacitancia de este capacitor esférico.



El campo eléctrico entre las esferas se dirige radialmente hacia afuera cuando la esfera interior tiene carga positiva:

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$V_a - V_b = \int_a^b \bar{\boldsymbol{E}} \cdot d\bar{\boldsymbol{l}} = \int_a^b E dr$$

$$V_{ab} = \int_{r_a}^{r_b} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2} dr = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \int_{r_a}^{r_b} \frac{dr}{r^2}$$

$$V_{ab} = \left(-\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}\right)\Bigg|_{r_a}^{r_b} = -\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r_b} - \left(-\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r_a}\right)$$

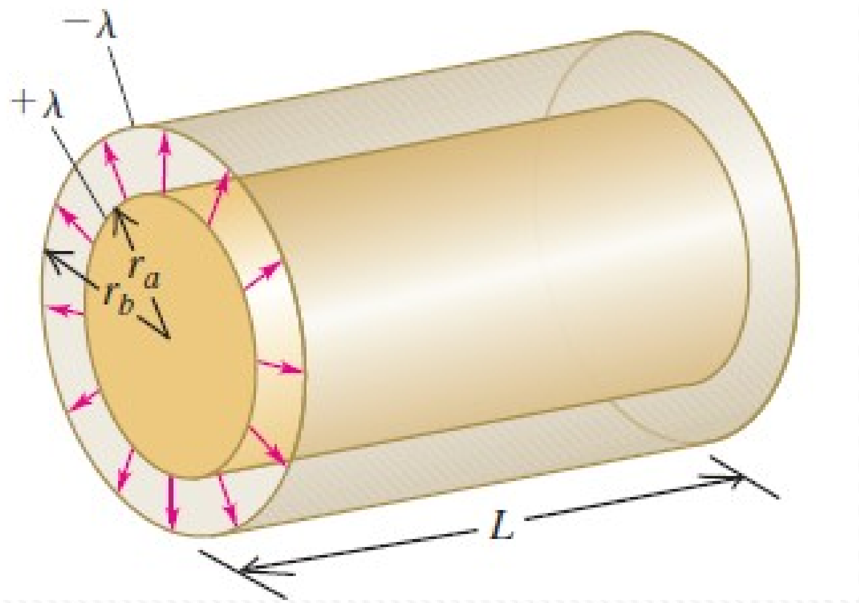
$$V_{ab} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{r_b - r_a}{r_a r_b}\right)$$

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = 4\pi\varepsilon_0 \frac{r_a r_b}{r_b - r_a}$$

$$\boldsymbol{C = 4\pi\varepsilon_0 \frac{r_a r_b}{r_b - r_a}}$$

EJEMPLO: Capacitor cilíndrico

Dos conductores cilíndricos coaxiales y largos están separados por un vacío. El cilindro interior tiene un radio r_a *y densidad de* carga lineal +λ. El cilindro exterior tiene un radio interior r_b *y densidad* de carga lineal - λ. Obtenga la capacitancia por unidad de longitud para este capacitor.



El campo eléctrico entre los cilindros se dirige radialmente hacia afuera :

$$E(r) = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$$

$$V_a - V_b = \int_a^b \overline{\boldsymbol{E}} \cdot d\overline{\boldsymbol{l}} = \int_a^b E dr$$

$$V_{ab} = \int_{r_a}^{r_b} \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} dr = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} \int_{r_a}^{r_b} \frac{dr}{r}$$

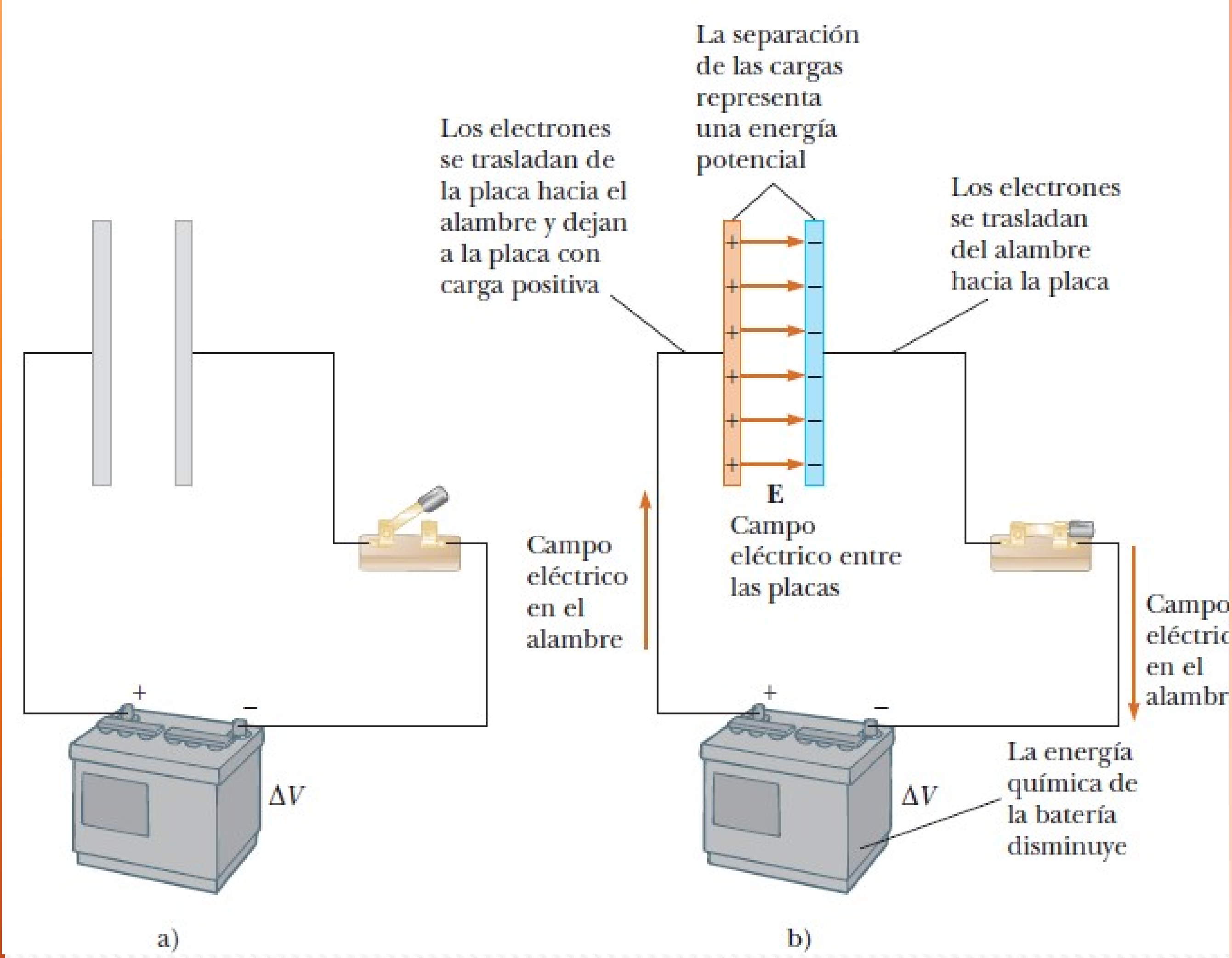
$$V_{ab} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} \ln r \Big|_{r_a}^{r_b} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} \ln\left(\frac{r_b}{r_a}\right)$$

Q= λL

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \frac{\lambda L}{\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} \ln\left(\frac{r_b}{r_a}\right)} = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln\left(\frac{r_b}{r_a}\right)}$$

$$\boxed{\frac{C}{L} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\left(\frac{r_b}{r_a}\right)}}$$

ENERGÍA ALMACENADA EN UN CAPACITOR



a) Circuito: capacitor, batería e interruptor.

b) Cierro interruptor, batería establece un campo eléctrico en el alambre que mueve los electrones de la placa izquierda hacia la derecha

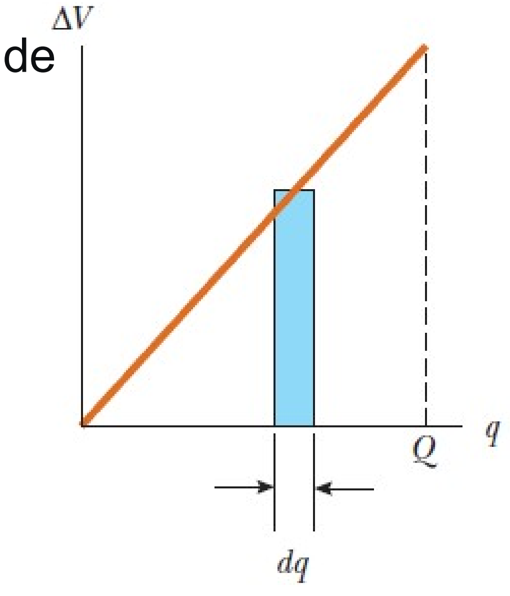
Se crea separación de cargas en las placas, implica un aumento en la energía potencial eléctrica del sistema del circuito.

Esta energía se obtiene a expensas de la energía química en la batería.

Almacenamiento de energía en capacitores y energía de campo eléctrico

La energía potencial eléctrica almacenada en un capacitor cargado es exactamente igual a la cantidad de trabajo requerido para cargarlo, es decir, para separar cargas opuestas y colocarlas en conductores diferentes.
Cuando el capacitor se descarga, esta energía almacenada se recupera en forma de trabajo realizado por las fuerzas eléctricas.
Se puede obtener la energía potencial *U de un capacitor, calculando el trabajo W* que se requiere para cargarlo.
Sea la carga final Q *y la diferencia de potencial final V.*
Sean *q y v la carga y la diferencia de potencial, respectivamente, en una etapa intermedia* del proceso de carga; entonces, *v* = *q/C.*
El trabajo dW requerido para transferir un elemento adicional de carga *dq es*

$$dW = v\,dq = \frac{q}{C}\,dq \quad W = \int_0^Q \frac{q}{C}\,dq = \frac{1}{C}\int_0^Q q\,dq = \frac{Q^2}{2C}$$



Definiendo la energía potencial de un capacitor *sin carga como cero, entonces W* es igual a la energía potencial *U del capacitor con carga:*

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

Energía de campo eléctrico

Un capacitor puede cargarse trasladando electrones directamente de una placa a otra. Esto requiere efectuar trabajo contra el campo eléctrico entre las placas. Así, es posible considerar la energía como si estuviera almacenada *en el campo, en la región* entre las placas.

Para desarrollar esta relación, debemos encontrar la energía *por unidad de volumen en el espacio entre las placas paralelas de un capacitor con área A* y separación *d.*

Esta se denomina ***densidad de energía*** *y se expresa con* ***u*.**

La energía potencial almacenada es $U = \frac{1}{2}CV^2$ y el volumen entre las placas es *Ad; por lo tanto, la densidad de energía vale:*

$$u = \frac{\frac{1}{2}CV^2}{A.d} = \left(\frac{\varepsilon_0 A}{d}\right)\frac{V^2}{2Ad} = \frac{\varepsilon_0}{2}\left(\frac{V}{d}\right)^2$$

Como modelamos que el campo eléctrico E entre las placas del capacitor es uniforme, tenemos que la diferencia de potencial entre las placas se puede expresar como: V= E.d, lo que lleva a que: E=V/d

$$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$

Energía de campo eléctrico

Aunque esta relación se obtuvo solo para un capacitor de placas paralelas, es válida para cualquier capacitor con vacío y, desde luego, *para cualquier configuración de campo eléctrico en el vacío.*

$$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$

La densidad de energía en cualquier campo eléctrico en un punto dado es proporcional al cuadrado de la magnitud del campo eléctrico.

Este resultado tiene una implicación interesante.
El vacío se considera como espacio en el que no hay materia; sin embargo, el vacío puede tener campos eléctricos y, por lo tanto, energía.
Así que, después de todo, el espacio “vacío” en realidad no lo está del todo.
Esta idea y la ecuación obtenida se usarán más adelante en relación con la energía transportada por las ondas electromagnéticas.

La energía del campo eléctrico es energía potencial eléctrica

Es un error común creer que la energía del campo eléctrico es una nueva clase de energía, distinta de la energía potencial eléctrica descrita anteriormente.
Pero *no es así; tan solo es una forma diferente de* interpretar la energía potencial eléctrica.

En la práctica, existe un límite para la energía (o carga) máxima que se puede almacenar, ya que en un valor lo suficientemente grande de *V* ocurrirá finalmente una descarga entre las placas. Por esta causa que los capacitores por lo general se marcan con un voltaje de operación máximo

DIELÉCTRICOS

La mayoría de los capacitores tienen un material no conductor o **dieléctrico** entre sus placas conductoras.

Un **dieléctrico** es un material no conductor, como la goma, el vidrio o el papel encerado

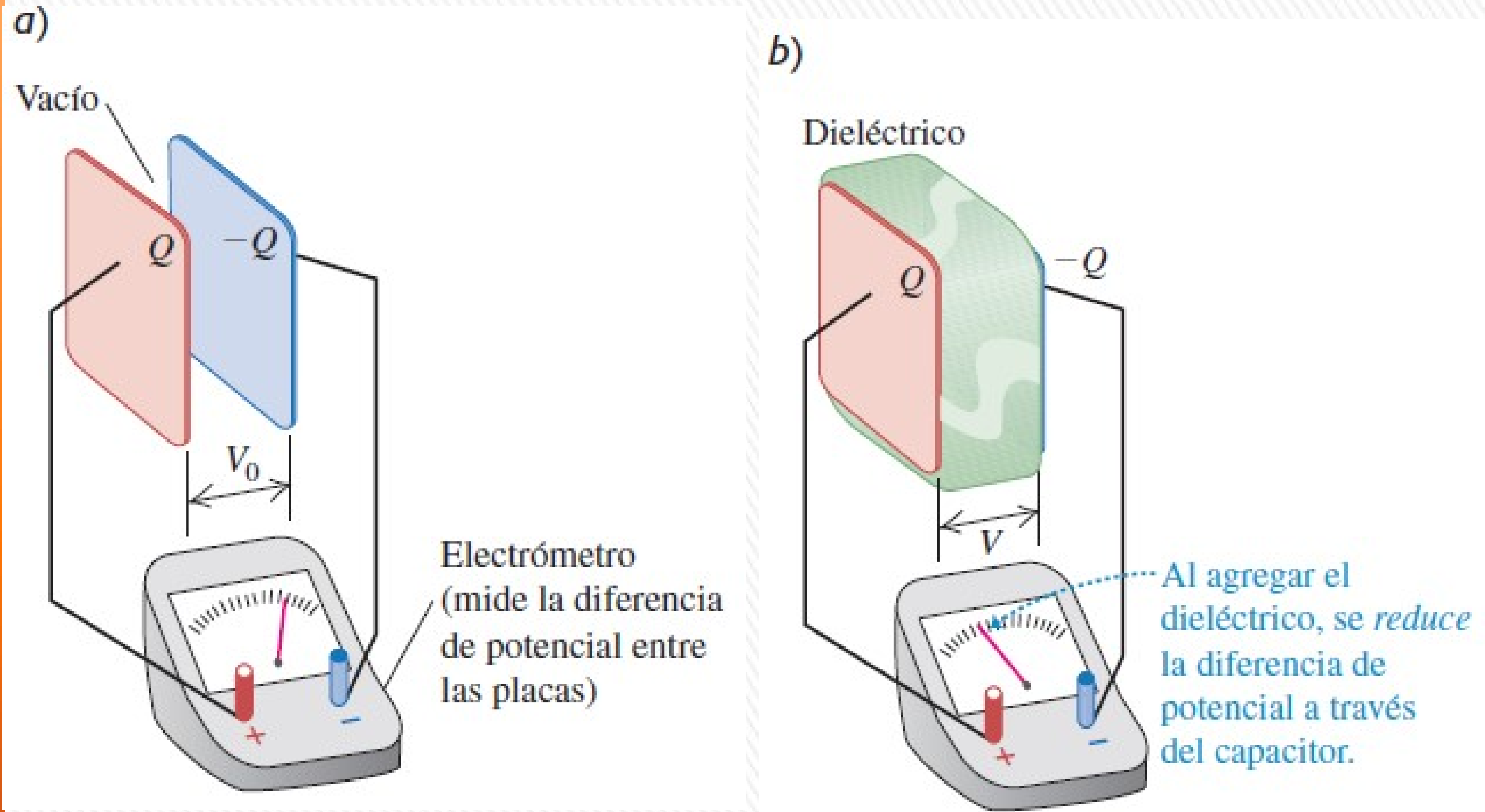
La colocación de un dieléctrico sólido entre las placas de un capacitor tiene tres funciones: .

1) Mantiene dos hojas metálicas grandes con una separación muy pequeña sin que hagan contacto.

2) Incrementa al máximo posible la diferencia de potencial entre las placas del capacitor, al tener una mayor rigidez dieléctrica (mayor capacidad de tolerar campos eléctricos intensos sin experimentar una ionización que provoca la conducción a través de él). Por tanto puede *almacenar cantidades más grandes de carga y energía.*

3) Aumenta la capacitancia del capacitor. *Cuando se inserta una lámina sin carga de material dieléctrico,* los experimentos indican que la diferencia de potencial *disminuye a un valor* $V < V_0$*, voltaje con el que se cargó inicialmente el capacitor cuando no había dieléctrico. Al retirar el dieléctrico, la diferencia* de potencial vuelve a su valor original V_0*, lo que demuestra que la carga original en* las placas no ha cambiado.

DIELÉCTRICOS



Efecto de un dieléctrico entre las placas paralelas de un capacitor.

a) Con una carga determinada, la diferencia de potencial es V_0.

b) Con la misma carga pero con un dieléctrico entre las placas, la diferencia de potencial *V es menor que* V_0.

DIELÉCTRICOS

La capacitancia original C_0 *está dada por* $C_0 = Q/V_0$, *y la capacitancia* C *con el* dieléctrico presente es $C = Q/V$.
La carga Q es la misma en ambos casos.

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

κ se llama **constante dieléctrica** del material (que varía de un material a otro)

La constante dieléctrica κ *es solo un número mayor que la unidad.*
Para el vacío, $\kappa = 1$*, por definición.*
Para el aire a temperaturas y presiones ordinarias, κ *es alrededor de 1,0006; este valor es tan cercano a 1 que, para fines* prácticos, un capacitor con aire es equivalente a uno con vacío.

Ningún dieléctrico real es un aislante perfecto. Siempre hay cierta *corriente de fuga entre las placas con carga de un capacitor con dieléctrico.*

Capacitor de placas planas paralelas con dieléctrico:

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

La capacitancia *aumenta en un factor κ cuando el material dieléctrico llena por* completo la región entre placas.

CAPACITORES CON MATERIAL DIELÉCTRICO

La capacitancia *aumenta en un factor κ cuando el material dieléctrico llena por* completo la región entre placas.

Capacitor de placas planas paralelas con dieléctrico:

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

Para cualquier separación *d conocida, el voltaje máximo* que puede aplicarse a un capacitor sin causar una descarga depende de la **resistencia o rigidez dieléctrica (campo eléctrico máximo) del dieléctrico.** Si la magnitud del campo eléctrico en el dieléctrico excede la resistencia dieléctrica, las propiedades aislantes fallan, y el dieléctrico empieza a conducir.

Ruptura del dieléctrico

Para cualquier separación *d conocida, el voltaje máximo* que puede aplicarse a un capacitor sin causar una descarga depende de la **resistencia o rigidez dieléctrica (campo eléctrico máximo) del dieléctrico.** Si la magnitud del campo eléctrico en el dieléctrico excede la resistencia dieléctrica, las propiedades aislantes fallan, y el dieléctrico empieza a conducir.

Si un dieléctrico se somete a un campo eléctrico suficientemente intenso, tiene lugar la *ruptura del dieléctrico y entonces el dieléctrico se* convierte en conductor.

Esto ocurre cuando el campo eléctrico es tan intenso que arranca los electrones de sus moléculas y los lanza sobre otras moléculas, con lo cual se liberan aún más electrones.

Esta avalancha de carga en movimiento forma una chispa o arco eléctrico.

Un relámpago es un ejemplo notable de la ruptura del dieléctrico en el aire.

Debido a la ruptura del dieléctrico, los capacitores siempre tienen voltajes máximos nominales. Cuando un capacitor se somete a un voltaje excesivo, se forma un arco a través de la capa de dieléctrico, y lo quema o perfora. Este arco crea una trayectoria conductora (un cortocircuito) entre los conductores.

La magnitud máxima de campo eléctrico a que puede someterse un material sin que ocurra la ruptura se denomina **rigidez dieléctrica.**

Varía con la temperatura, impurezas, pequeñas irregularidades en los electrodos metálicos. y otros factores que son difíciles de controlar.

La rigidez dieléctrica del aire seco es de alrededor de $3x10^6$ V/m.

Constante y resistencia dieléctrica

Constantes dieléctricas y resistencias dieléctricas aproximadas de diversos materiales a temperatura ambiente

Material	Constante dieléctrica κ	Intensidad dieléctrica[a] (10^6 V/m)
Aceite de silicón	2.5	15
Agua	80	—
Aire (seco)	1.000 59	3
Baquelita	4.9	24
Cloruro de polivinilo	3.4	40
Cuarzo fundido	3.78	8
Hule de neopreno	6.7	12
Mylar	3.2	7
Nylon	3.4	14
Papel	3.7	16
Papel impregnado en parafina	3.5	11
Poliestireno	2.56	24
Porcelana	6	12
Teflón	2.1	60
Titanato de estroncio	233	8
Vacío	1.000 00	—
Vidrio pirex	5.6	14

[a] La resistencia dieléctrica es igual al campo eléctrico máximo que puede existir en un dieléctrico sin que se rompa el aislamiento. Observe que estos valores dependen en gran medida de si existen o no impurezas o defectos en los materiales.

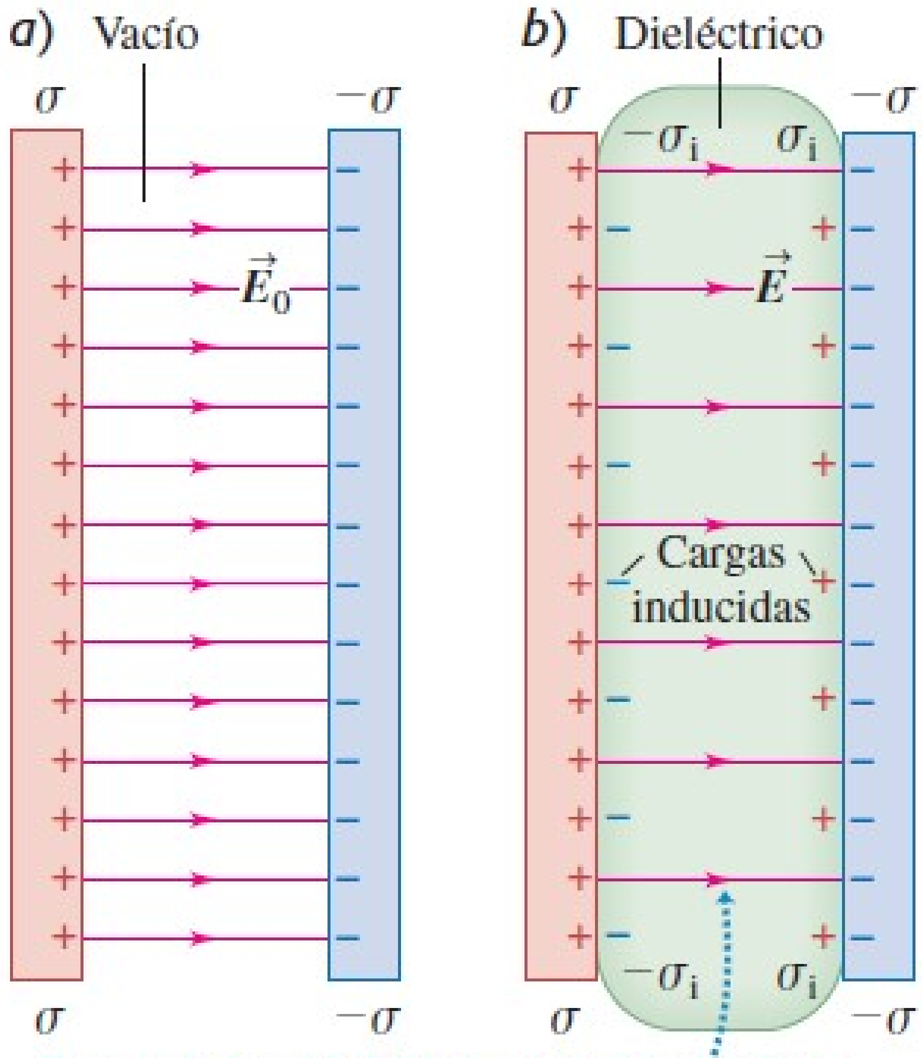
CARGA INDUCIDA Y POLARIZACIÓN

Cuando se inserta un dieléctrico entre las placas de un capacitor al mismo tiempo que la carga se mantiene constante, la diferencia de potencial entre aquellas disminuye en un factor κ. *Por lo tanto, el campo eléctrico entre las placas debe disminuir* en el mismo factor.

Si E_0 *es el valor con vacío y E es el valor con dieléctrico, entonces:*

$$E = \frac{E_0}{\kappa}$$

Como $E < E_0$, la densidad de carga superficial (que crea el campo) también debe ser menor. La carga superficial en las placas conductoras no cambia, pero en cada superficie del dieléctrico **aparece una carga *inducida de signo contrario.***



Para una densidad de carga determinada σ, las cargas inducidas en las superficies del dieléctrico reducen el campo eléctrico entre las placas.

CARGA INDUCIDA Y POLARIZACIÓN

Originalmente, el dieléctrico era neutro y todavía lo es; las cargas superficiales inducidas surgen como resultado de la *redistribución de la carga positiva y negativa dentro del material* dieléctrico; este fenómeno se llama **polarización.**

Supondremos que la carga superficial inducida es *directamente proporcional* a la magnitud *E del campo eléctrico en el material (es el caso* de muchos dieléctricos comunes). Cuando el campo eléctrico es muy intenso o si el dieléctrico está hecho de ciertos materiales cristalinos, la relación entre la carga inducida y el campo eléctrico es más compleja.

Sea **σ_i la densidad de carga superficial inducida** y **σ la densidad de carga superficial en las placas del capacitor**.

Entonces, la carga superficial *neta en cada lado del capacitor tiene una* magnitud: $(\sigma - \sigma_i)$.

El campo entre las placas se relaciona con la densidad neta de carga superficial mediante $E = \sigma_{neta}/\varepsilon_0$.

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \qquad E = \frac{\sigma - \sigma_i}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{E_0}{\kappa} \Rightarrow \frac{\sigma - \sigma_i}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \kappa} \qquad \sigma_i = \sigma - \frac{\sigma}{\kappa} = \sigma\left(1 - \frac{1}{\kappa}\right)$$

$$\sigma_i = \sigma\left(1 - \frac{1}{\kappa}\right)$$

CARGA INDUCIDA Y POLARIZACIÓN

$$\sigma_i = \sigma\left(1 - \frac{1}{\kappa}\right)$$

Si κ *es muy grande,* σ_i *casi es tan grande como* σ*, y* σ_i casi anula a σ, y el campo y la diferencia de potencial son mucho menores que sus valores en el vacío.

Se llama **permitividad del dieléctrico ε** a:

$$\varepsilon = \kappa\varepsilon_0$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$C = \kappa C_0 = \kappa\varepsilon_0 \frac{A}{d} = \varepsilon \frac{A}{d}$$

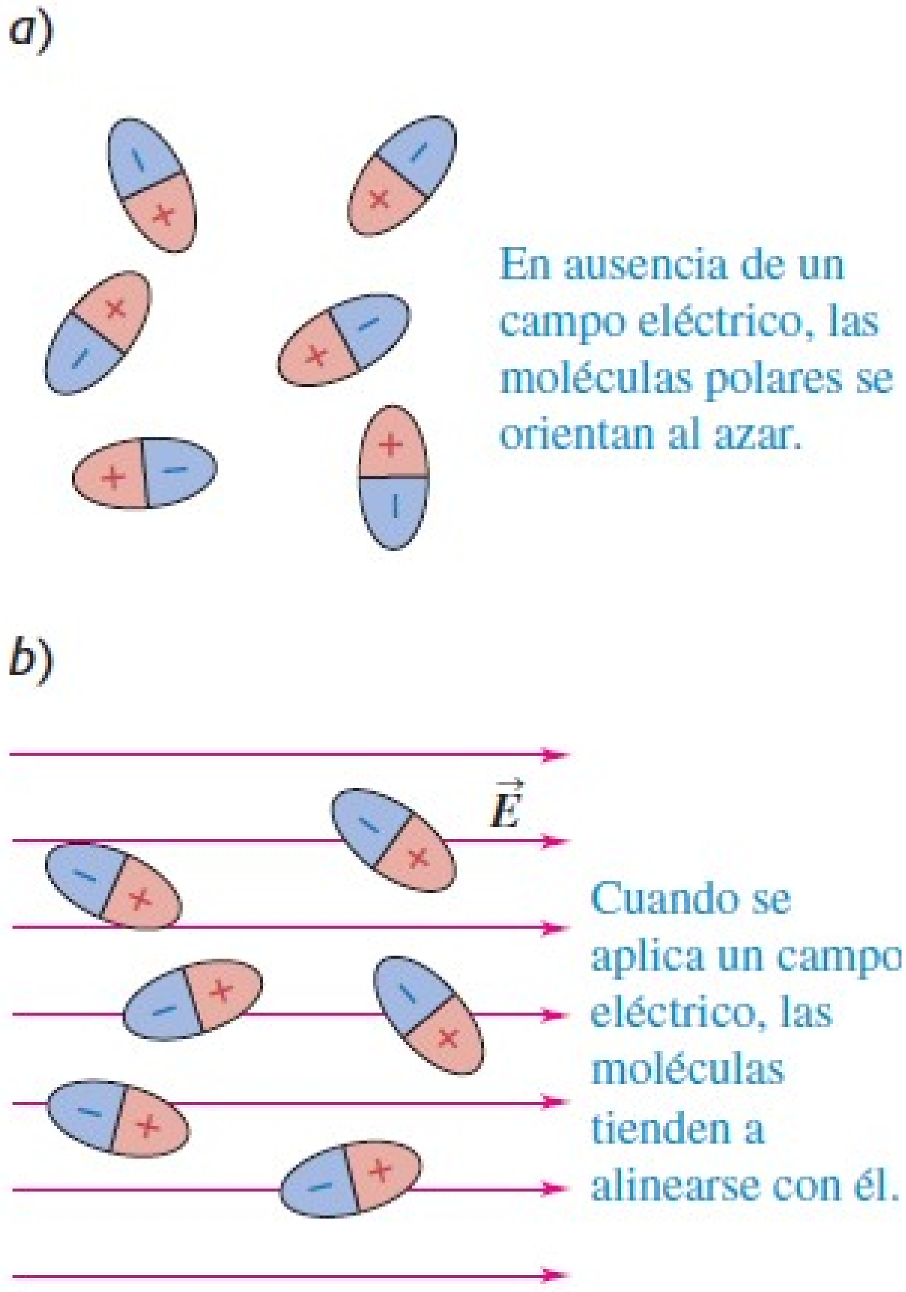
La densidad de energía *u en un* campo eléctrico para el caso en que hay un dieléctrico vale:

$$u = \frac{1}{2}\kappa\varepsilon_0 E^2 = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$$

MODELO MOLECULAR DE LA CARGA INDUCIDA

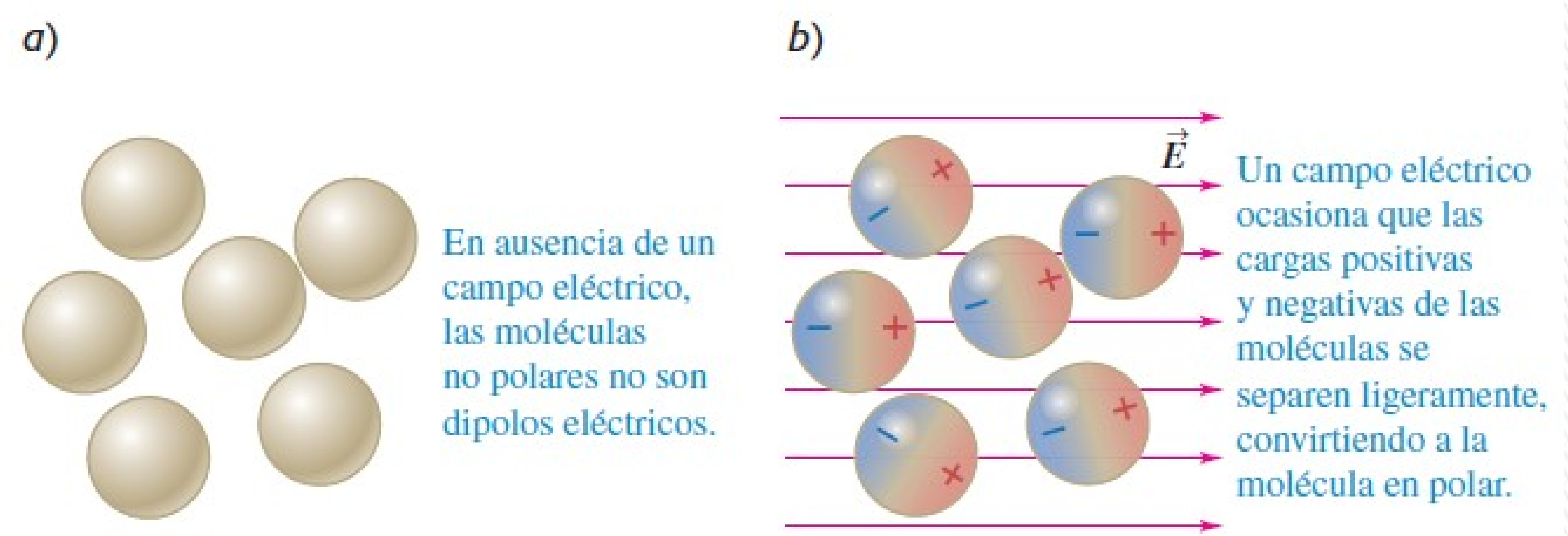
Los conductores contienen carga que tiene libertad de movimiento y, cuando está presente un campo eléctrico, algunas de ellas se redistribuyen en la superficie de manera que no hay campo eléctrico dentro del conductor.
En un dieléctrico ideal *no tiene cargas con libertad para moverse.*

Sin embargo son capaces de tener un reacomodo de la carga a nivel *molecular. Algunas moléculas, como las del* H_2O *si bien son neutras, tienen* una distribución desigual de carga desigual, con exceso de carga positiva concentrada en un lado de la molécula y carga negativa en el otro, es decir que conforman un ***dipolo eléctrico****, y la* molécula se llama ***molécula polar****.*
Cuando no hay un campo eléctrico externo, se orientan al azar (figura *a).*



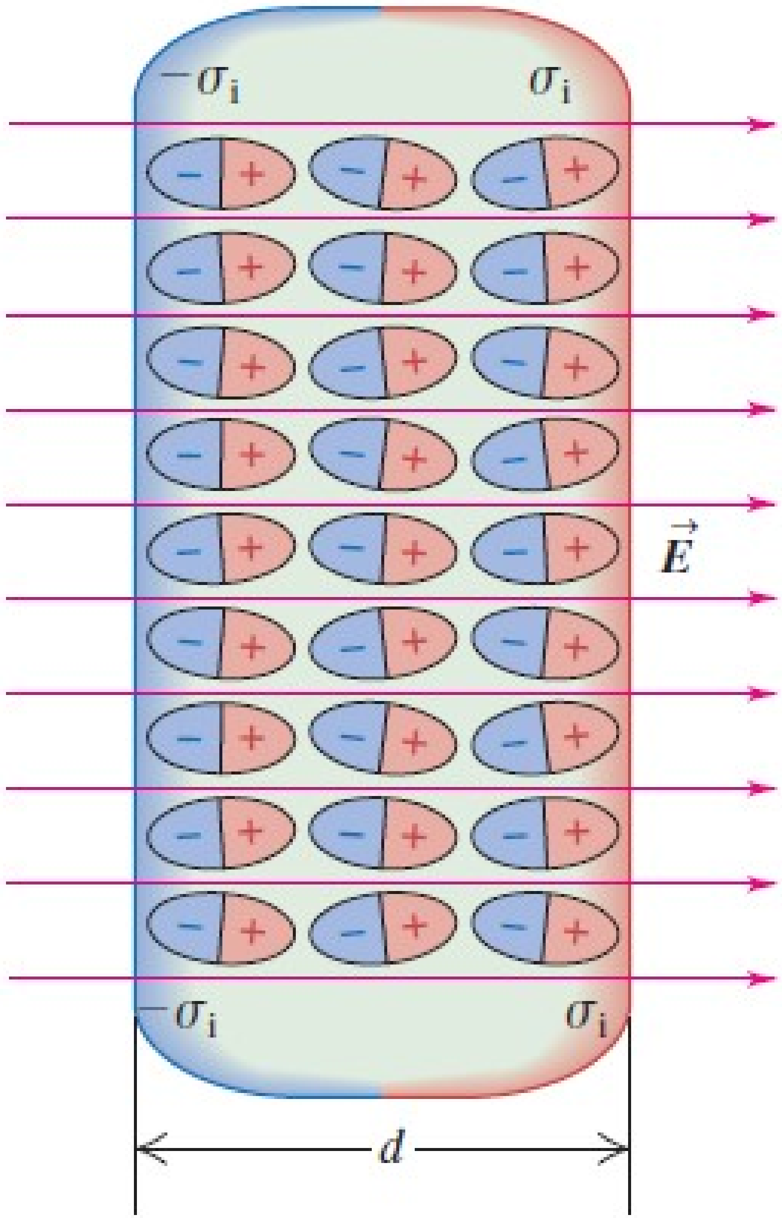
MODELO MOLECULAR DE LA CARGA INDUCIDA

Sin embargo, al colocarse en un campo eléctrico **E**, tienden a orientarse como en la figura *b, como resultado de las torques que origina dicho campo eléctrico.*
Por la agitación térmica, la alineación con respecto a **E** no es perfecta.
Incluso una molécula que normalmente *no es polar se convierte en un dipolo al* colocarse en un campo eléctrico debido a que éste empuja las cargas positivas en las moléculas en la dirección del campo, y a las negativas en dirección opuesta.
Esto ocasiona una redistribución de la carga dentro de la molécula.
Estos dipolos se llaman **dipolos *inducidos***.

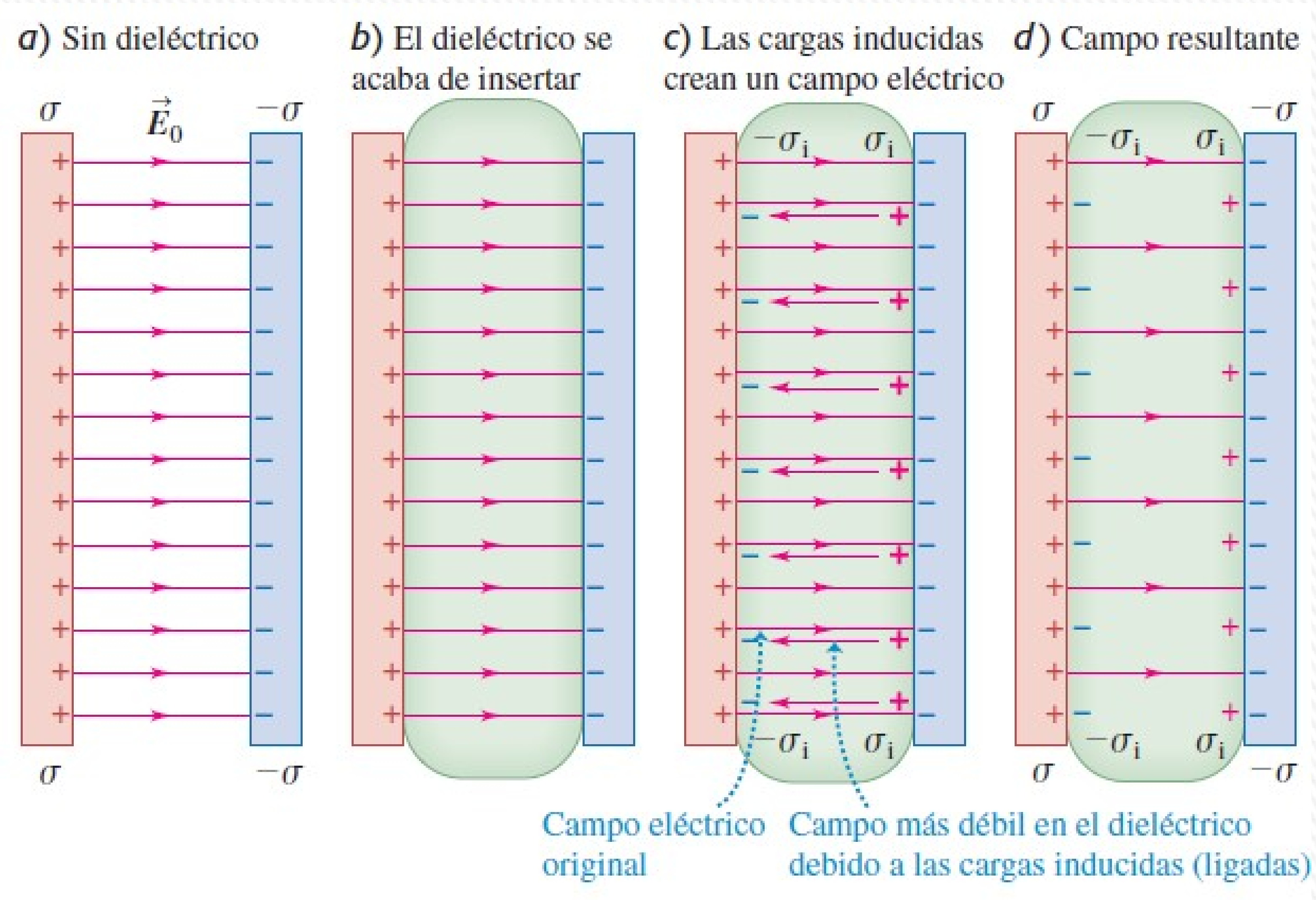


MODELO MOLECULAR DE LA CARGA INDUCIDA

Sean las moléculas polares o no polares, la carga se redistribue por el **E**, originando la formación de una capa de carga en cada superficie del material dieléctrico.
Estas capas son las que originan la densidad superficial de carga inducida σ_i vista anteriormente. .
Las cargas *no tienen* libertad para moverse indefinidamente como lo harían en un conductor porque está unida a una molécula.
Se les llama **cargas ligadas** para diferenciarlas de las **cargas libres** que se agregan y se retiran de las placas conductoras de un capacitor.
En el interior del material, la carga neta por unidad de volumen permanece igual a cero.
Esta redistribución de carga recibe el nombre de ***polarización***, *y se dice que el material está* ***polarizado***.



MODELO MOLECULAR DE LA CARGA INDUCIDA



a) Campo eléctrico de magnitud E_0 entre dos placas con carga.
b) Introducción de un dieléctrico de constante dieléctrica κ.
c) Las cargas superficiales inducidas y su campo.
d) Campo resultante de magnitud E_0/κ.

MODELO MOLECULAR DE LA CARGA INDUCIDA

La polarización es la razón por la que un cuerpo con carga, como una varilla de plástico electrificada, puede ejercer una fuerza sobre un cuerpo *sin carga, como un trozo de papel .* En la figura se presenta una esfera *B dieléctrica sin carga en el campo radial de* un cuerpo con carga positiva *A.*
Las cargas positivas inducidas en B experimentan una fuerza hacia la derecha, mientras que la fuerza en las cargas inducidas negativas va hacia la izquierda.
Las cargas negativas están más cerca de *A, por lo que se encuentran* en un campo más intenso que las cargas positivas. La fuerza hacia la izquierda es mayor que la que va hacia la derecha, y *B es atraída hacia A, aun cuando su carga neta* es igual a cero.
La atracción ocurre sin importar que el signo de la carga de *A sea positivo* o negativo.
También un cuerpo conductor sin carga sería atraído de igual manera.