CLASE 8

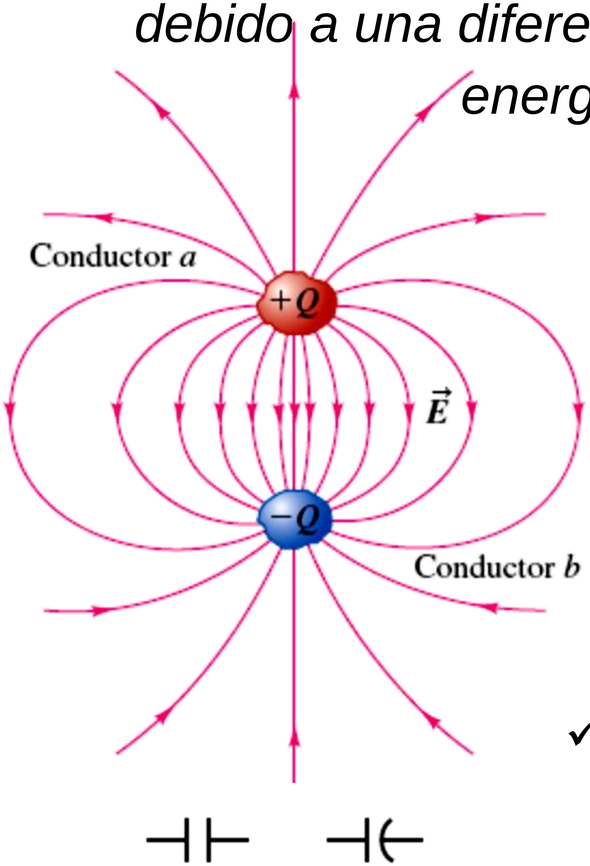
CAPACITORES Y DIELÉCTRICOS

CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA

CONDENSADOR ELÉCTRICO (CAPACITOR) Y CAPACITANCIA

Un sistema de dos conductores aislados portadores de cargas iguales y opuestas constituye un ***condensador eléctrico***, denominado también ***capacitor*** *(*anglicismo).

*Un condensador es un **dispositivo** eléctrico pasivo el cual debido a una diferencia de potencial (fuente) **almacena carga** (como energía) debido a la presencia de un campo eléctrico* $\vec{E}$.



$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$

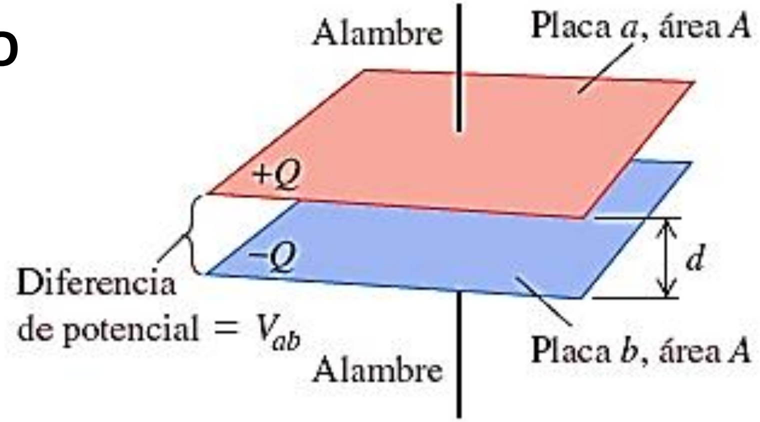
capacidad eléctrica o capacitancia

$\boxed{\text{SI} = 1\ \text{F} = 1\,\frac{C}{V}}$

- ✓ *la **capacitancia** es una medida de la aptitud (**capacidad**) de un capitor **para almacenar energía**.*
- ✓ *sólo **depende** de **las formas** y los **tamaños de los conductores**, así como de la **naturaleza del material aislante** que hay entre ellos.*

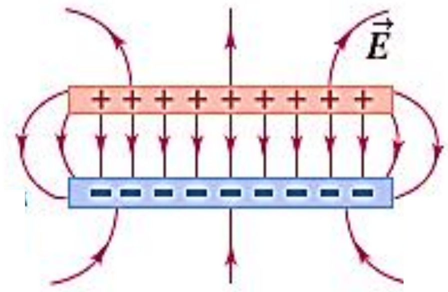
Michael Faraday (1791-1867), físico y químico inglés

CAPACITORES DE PLACAS PARALELAS EN EL VACÍO



<u>capacitor de placas paralelas</u>

- ✓ dos placas conductoras paralelas
- ✓ cada una con área $\boldsymbol{A}$
- ✓ separadas por una distancia $\boldsymbol{d}$
- ✓ el campo $\vec{\boldsymbol{E}}$ entre esas placas es esencialmente ***uniforme***
- ✓ y las cargas en las placas se distribuyen de manera uniforme en sus superficies opuestas

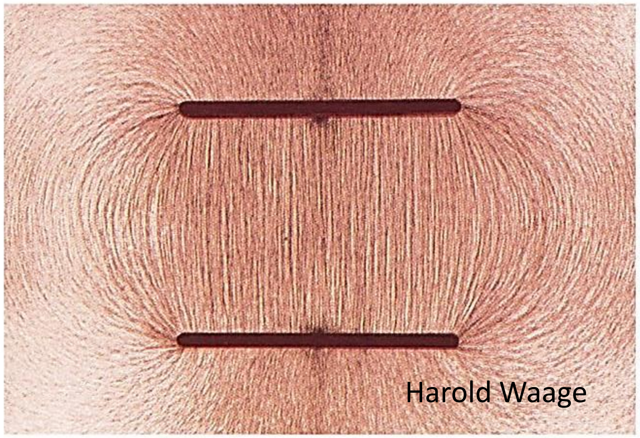


$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}} \qquad \sigma = \frac{Q}{A}$$

Reemplazo:

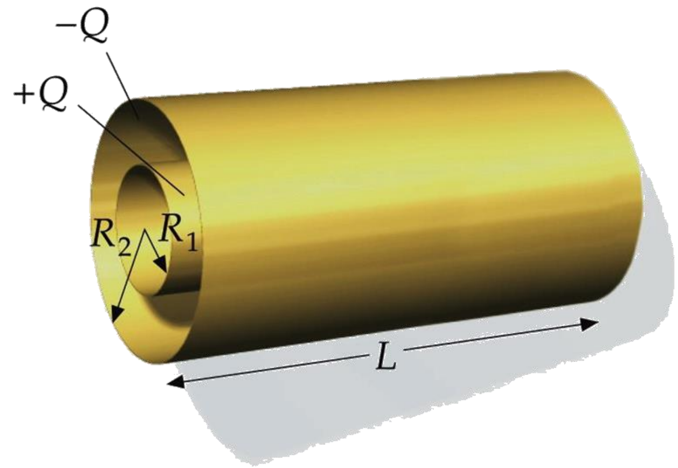
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

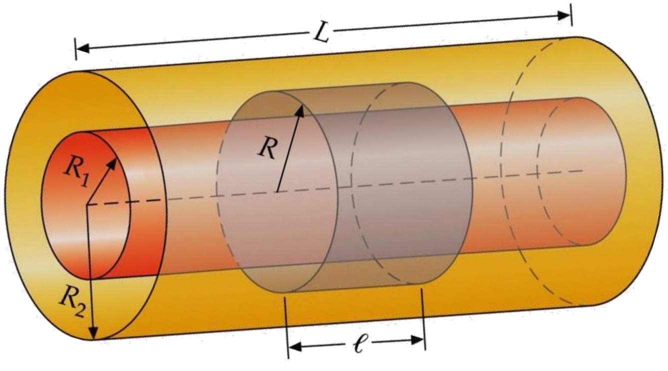
$$V_{ab} = Ed = \frac{Qd}{\epsilon_0 A} \Rightarrow \boldsymbol{C = \frac{Q}{V_{ab}} = \epsilon_0 \frac{A}{d}}$$



PROBLEMAS

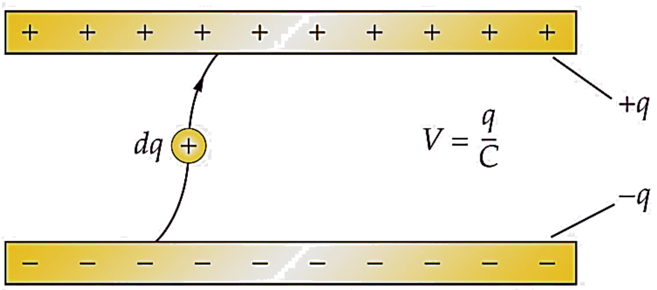
- ✓ *determinar el campo eléctrico E, normalmente usando ley de Gauss*
- ✓ *determinar la diferencia de potencial entre los dos conductores y resolver la integral*
- ✓ *calcular la capacidad eléctrica*





ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN CONDENSADORES

Podemos determinar la energía potencial U de un capacitor con carga mediante el cálculo del trabajo W que se requiere para cargarlo. Suponga que cuando se carga el capacitor, la carga final es Q y la diferencia de potencial final es V.



- ✓ *dos conductores descargados que no están en contacto entre sí*
- ✓ *sea q la carga transferida al cabo de cierto tiempo durante el proceso de cargar el condensador.*

La diferencia de potencial es entonces

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

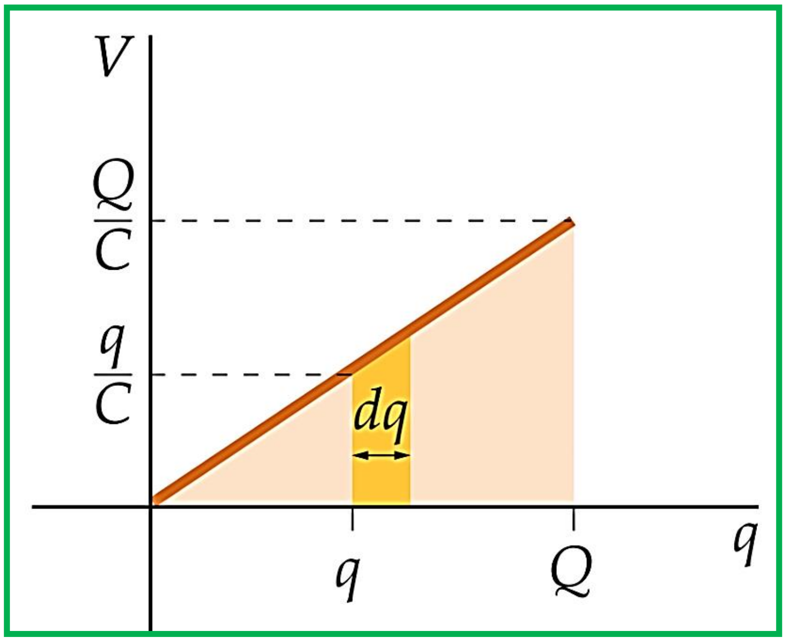
En esta etapa, el trabajo dW que se requiere para transferir un elemento adicional de carga dq es

$$dW = Vdq = \frac{qdq}{C}$$

$$dW = vdq = \frac{qdq}{C}$$

$$W = \int_0^W dW = \int_0^Q \frac{qdq}{C} = \frac{1}{C}\int_0^Q qdq = \boxed{\frac{Q^2}{2C}}$$

trabajo para cargar el condensador



✓ *el trabajo necesario para cargar un condensador resulta ser la integral de* Vdq *desde la carga original* $q = 0$ *hasta la carga final* $q = Q$

$$W = \int_0^W dW = \int_0^Q \frac{qdq}{C} = \frac{1}{C}\int_0^Q qdq = \frac{Q^2}{2C}$$

Si se define la energía potencial de un **capacitor *sin carga*** como **igual a cero**, entonces W es igual a la energía potencial U del capacitor con carga.

$$\boldsymbol{Q = CV}$$ carga final almacenada

por lo que U se expresa como:

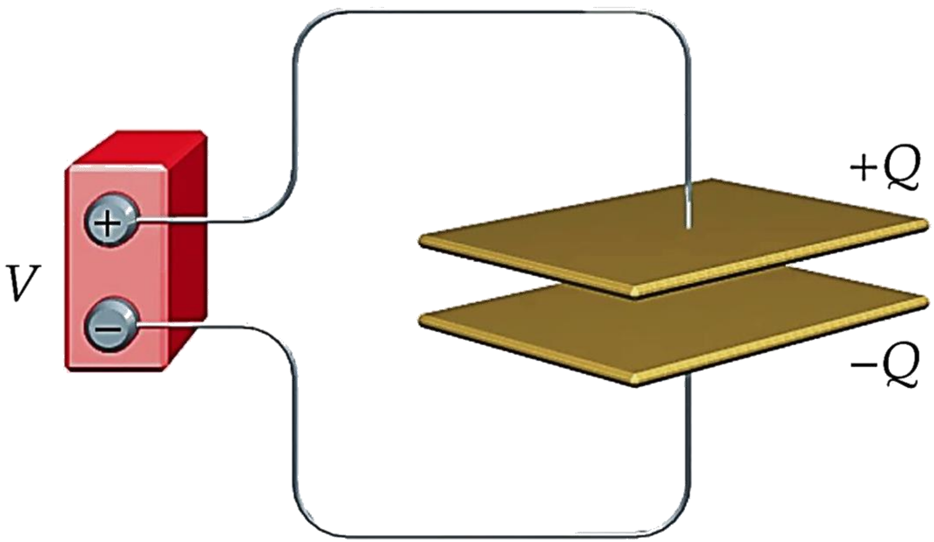
$$\boxed{\boldsymbol{U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}QV}}$$

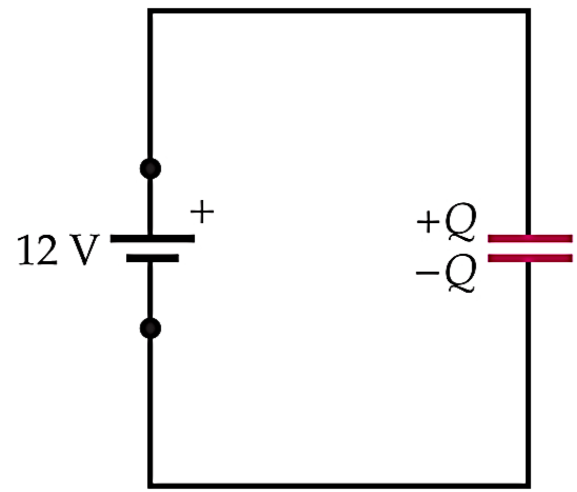
energía potencial almacenada en el condensador

*la **capacitancia** mide la **facultad** de un capacitor para **almacenar tanto energía como carga**.*

CONDENSADORES, BATERÍAS Y CIRCUITOS

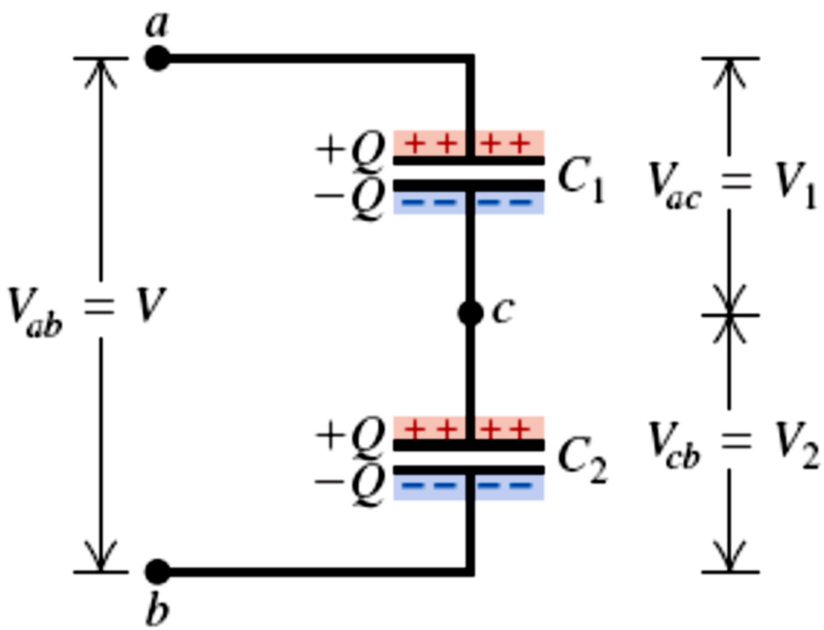
Cuando los conductores de un condensador descargado se conectan a los terminales de una batería, ésta transfiere carga desde un conductor al otro hasta que la diferencia de potencial entre los conductores es igual a la que existe entre los bornes de la batería en circuito abierto.





CONDENSADORES CONECTADOS EN SERIE O EN PARALELO

Se conectan en serie dos capacitores (uno en seguida del otro) mediante alambres conductores entre los puntos a y b.

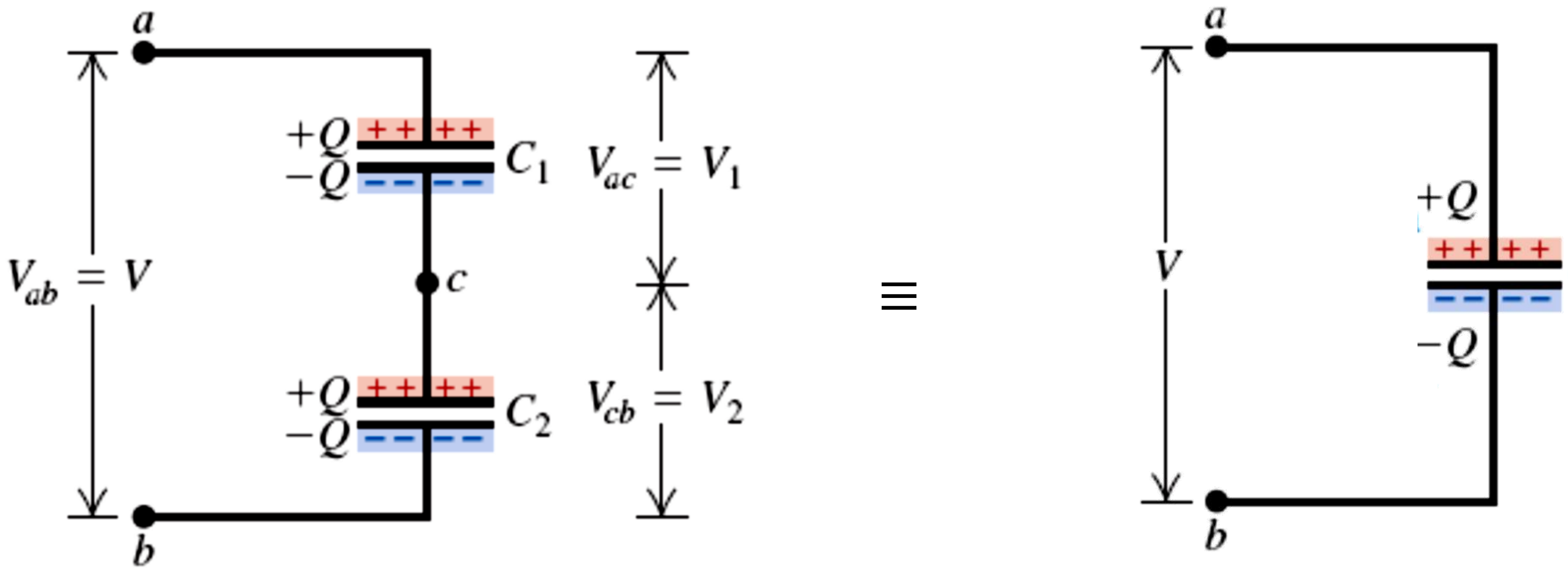


- ✓ *se aplica una diferencia de potencial V_{ab} positiva y constante entre los puntos a y b*
- ✓ *los capacitores se cargan*
- ✓ *en una conexión en serie, la magnitud de la carga en todas las placas es la misma.*
- ✓ *las diferencias de potencial entre los punto a y c, c y b, y a y b, pueden representarse como*

$$V_{ac} = V_1 = \frac{Q}{C_1} \qquad V_{cb} = V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_{ab} = V_1 + V_2 = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)$$

$$\Rightarrow \quad \boldsymbol{\frac{V}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$



- *definimos **capacidad equivalente** C_{eq} como la capacidad de un **solo condensador** para el que la carga Q es la misma que para la combinación en serie, cuando la diferencia de potencial es la misma.*

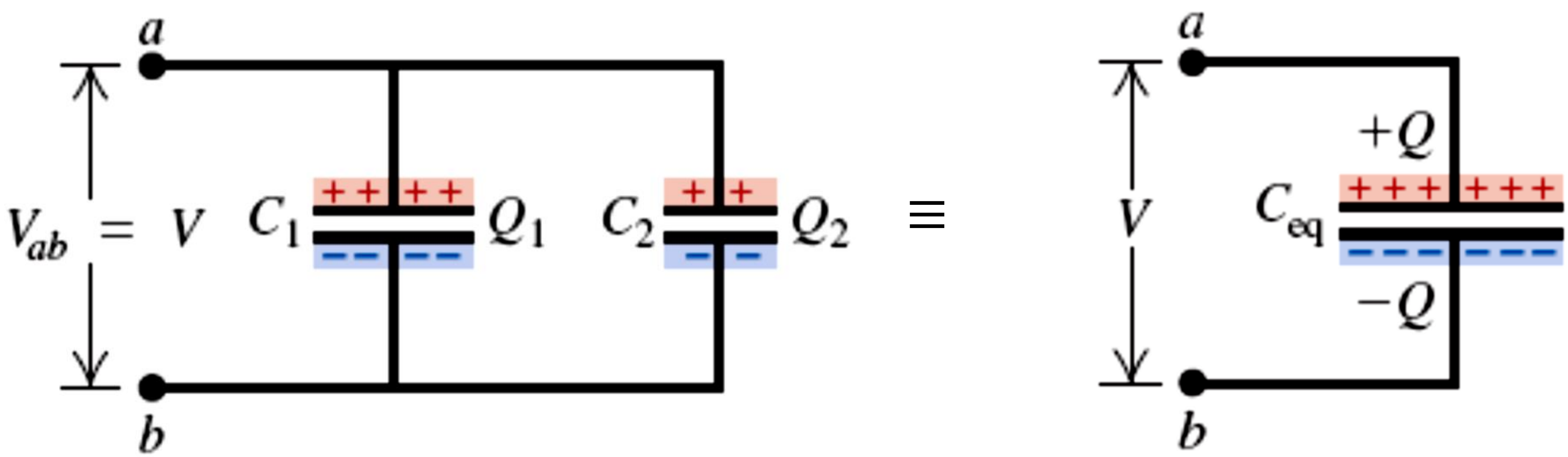
$$C_{eq} = \frac{Q}{V}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{V}{Q}$$

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

El recíproco de la **capacitancia equivalente** de una combinación **en serie** es igual a la ***suma de los recíprocos*** de las capacitancias individuales.

En este caso, las placas superiores de los dos capacitores están conectadas mediante alambres conductores para formar una superficie equipotencial, y las placas inferiores forman otra.



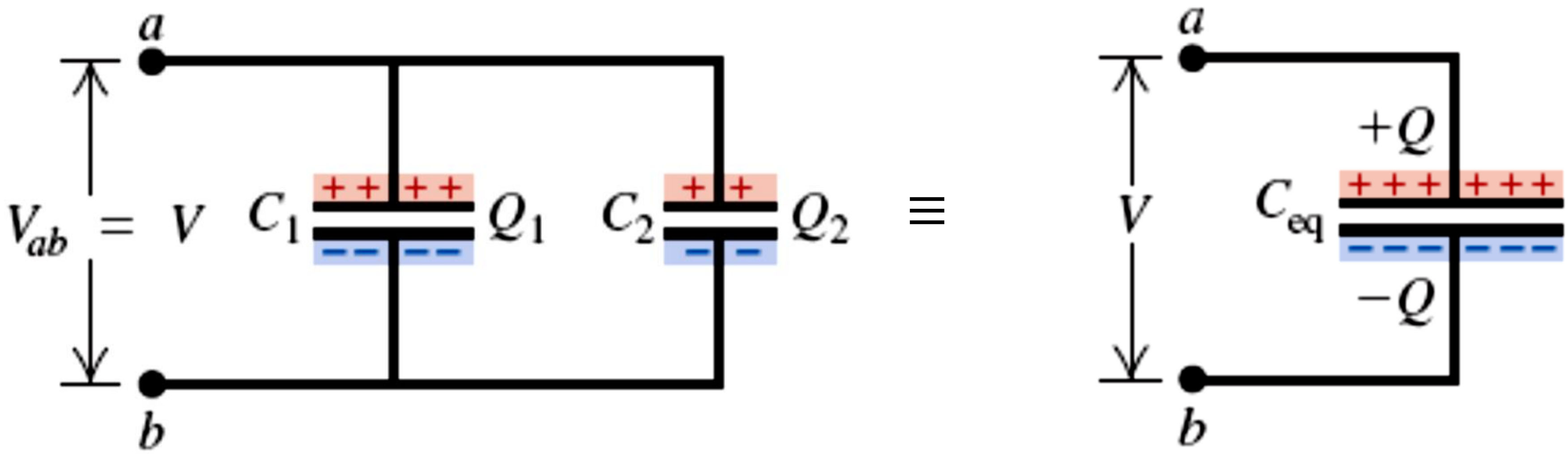
✓ *la diferencia de potencial para todos los capacitores individuales es la misma, y es igual a* $V_{ab} = V$

$$Q_1 = C_1V$$

$$Q_2 = C_2V$$

✓ *las cargas Q_1 y Q_2 no son necesariamente iguales*

$$Q = Q_1 + Q_2 = V(C_1 + C_2)$$



La carga total Q de la combinación, y por consiguiente la carga total en el capacitor equivalente, es

$$Q = Q_1 + Q_2 = \mathrm{V}(C_1 + C_2)$$

$$\frac{Q}{V} = C_1 + C_2$$

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

La capacitancia equivalente de una combinación en paralelo es igual a la ***suma*** **d**e las **capacitancias individuales**.

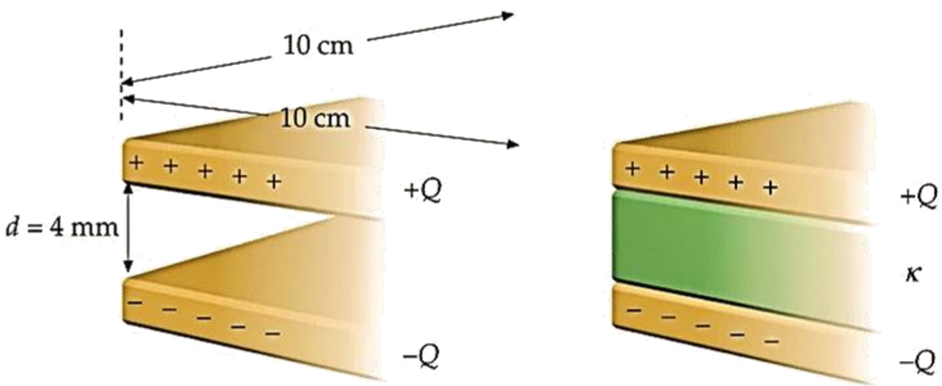
DIELÉCTRICOS

Un dieléctrico es **un material no conductor** (vidrio, papel, madera, plástico). Cuando un dieléctrico se inserta entre las placas de un capacitor, tendrá las siguientes funciones:

- ✓ *da el soporte mecánico que permite mantener alas placas separadas una distancia pequeña sin tocarse*

- ✓ *incrementa al máximo posible la diferencia de potencial entre las placas del capacitor y, por lo tanto, almacena cantidades más grandes de carga y energía*

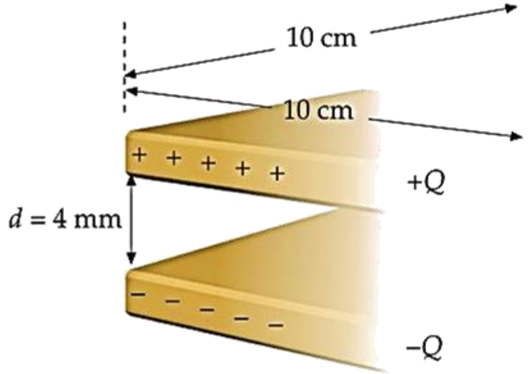
- ✓ *incrementa la capacitancia*



κ *es la constante dieléctrica*

DIELÉCTRICOS

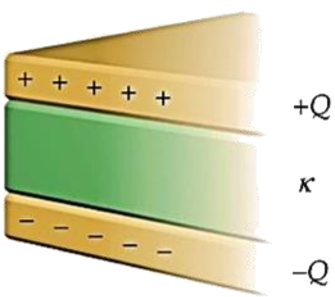
- ✓ *consideramos un capacitor cargado aislado y sin dieléctrico entre sus placas*



- ✓ *introducimos una pastilla de dieléctrico*
- ✓ *campo eléctrico original* E_0

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

donde $\boldsymbol{\kappa}$ *es la constante dieléctrica*



- ✓ *la diferencia de potencial entre sus placas es*

$$V = Ed$$

- ✓ *reemplazamos E y tenemos*

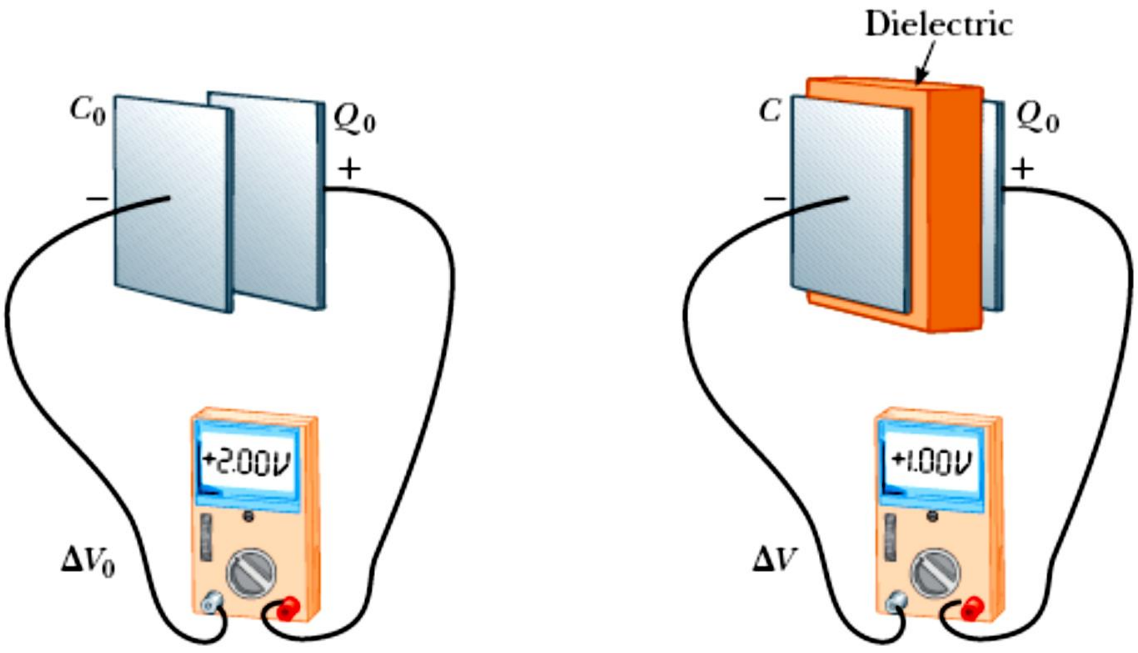
$$\boldsymbol{V = Ed = \frac{E_0 d}{\kappa} = \frac{V_0}{\kappa}}$$

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

$$V = Ed = \frac{E_0 d}{\kappa} = \frac{V_0}{\kappa}$$

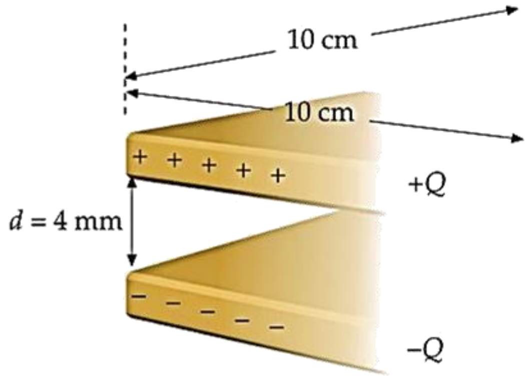
donde V es la diferencia de potencial con dieléctrico y V_o, sin dieléctrico

Efecto de un dieléctrico entre las placas paralelas de un capacitor. a) Con una carga dada, 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.



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

$$\boldsymbol{V = Ed = \frac{E_0 d}{\kappa} = \frac{V_0}{\kappa}}$$

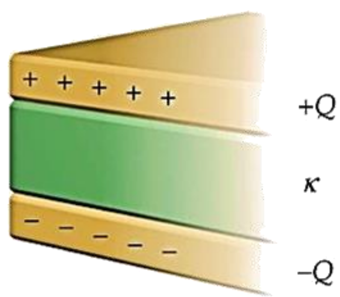


donde V es la diferencia de potencial con dieléctrico y V_o, sin dieléctrico

- ✓ *la nueva capacitancia será*

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

- ✓ *reemplazamos V y tenemos*

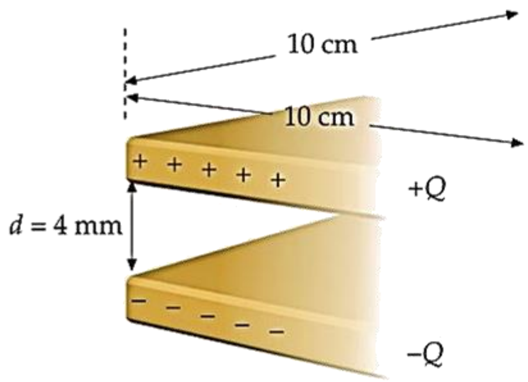


$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{V_0}{\kappa}} = \kappa \frac{Q}{V_0}$$

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

donde $C_0 = \frac{Q}{V_0}$ es la capacitancia sin dieléctrico

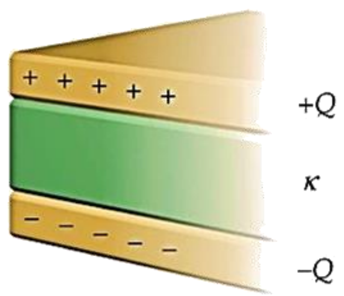
$$\boldsymbol{C} = \kappa \boldsymbol{C_0}$$



donde $C_0 = \frac{Q}{V_0}$ es la capacitancia sin dieléctrico

✓ *recordemos la expresión de* C

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



✓ *entonces,*

$$C = \kappa C_0 = \kappa\epsilon_0 \frac{A}{d} = \epsilon \frac{A}{d}$$

$\epsilon = \kappa\epsilon_0$ ***permitividad del dieléctrico***

SI = $C^2/N\cdot m^2$

RUPTURA DIELÉCTRICA

Muchos materiales no conductores se ionizan en campos eléctricos muy altos y se convierten en conductores. Este fenómeno, llamado **ruptura dieléctrica**, tiene lugar cuando la intensidad del campo eléctrico es de $3x10^6$V/m.

La intensidad del campo eléctrico para el cual tiene lugar la ruptura dieléctrica de un material se denomina **resistencia dieléctrica (rigidez dieléctrica)** de dicho material (aire 3MV/m).)

La descarga a través del aire resultante de la ruptura dieléctrica se denomina **descarga en arco**.

Constantes dieléctricas y resistencias a la ruptura dieléctrica de diversos materiales

Material	Constante diéléctrica κ	Resistencia del dieléctrico kV/mm
aire	1.00059	3
baquelita	4.9	24
mica	5.4	10-100
papel	3.7	16
poliestireno	2.55	24
porcelana	7	5.7
vidrio (Pyrex)	5.6	14

¿V?

ENERGÍA ALMACENADA EN PRESENCIA DE UN DIELÉCTRICO

- ✓ *conocemos que la energía potencial almacenada en el condensador*

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

- ✓ *si expresamos C en función del área y la separación entre las placas, y V en función del campo eléctrico y la separación de las placas,*

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \epsilon\,\frac{A}{d} \qquad\qquad V = Ed$$

- ✓ *reemplazando en U,*

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\left(\epsilon\,\frac{A}{d}\right)(Ed\,) = \frac{1}{2}\epsilon E^2(Ad)$$

volumen *entre las placas que contienen el E*

La energía por unidad de volumen es la **densidad de energía** $\boldsymbol{u_e}$ es , por lo tanto,

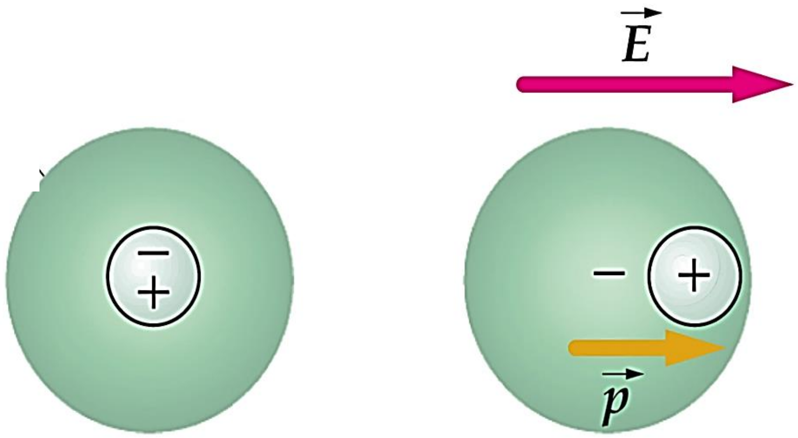
$$\boldsymbol{u_e} = \frac{energía}{volumen} = \frac{1}{2}\epsilon E^2 = \frac{1}{2}\kappa\epsilon_0 E^2$$

ESTRUCTURA MOLECULAR DE UN DIELÉCTRICO

Cuando un dieléctrico se sitúa en el campo de un capacitor, sus moléculas se polarizan de tal modo que se produce un *momento dipolar neto* paralelo al campo.

Aunque los átomos y las moléculas son eléctricamente neutros, se ven afectados por los campos eléctricos debido a que contienen cargas positivas y negativas que pueden responder a los campos externos.

- ✓ *distribuciones de carga de una molécula no polar en ausencia y en presencia de un campo eléctrico $\vec{\boldsymbol{E}}$ externo*



- ✓ *los centros de carga se desplazan*

se produce un momento dipolar $\vec{\boldsymbol{p}}$ inducido

*La molécula está **polarizada** y se comporta como un **dipolo eléctrico***

¿qué pasa cuando un dieléctrico se coloca en el campo de un condensador?

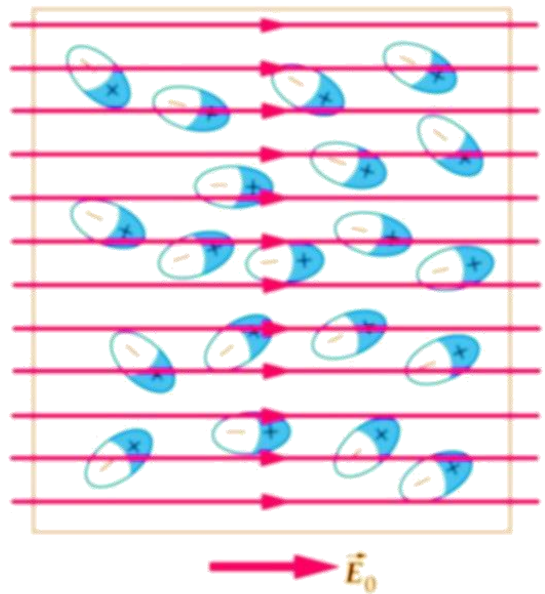
¿qué pasa cuando un dieléctrico se coloca en el campo de un condensador?

- ✓ *si las moléculas son **polares**, sus momentos dipolares tienden a **alinearse** con el campo*

- ✓ *si las moléculas **no son polares**, el campo **induce momentos dipolares** que son **paralelos** al campo.*

en ausencia de $\vec{E}$ externo

en presencia de $\vec{E}$ externo

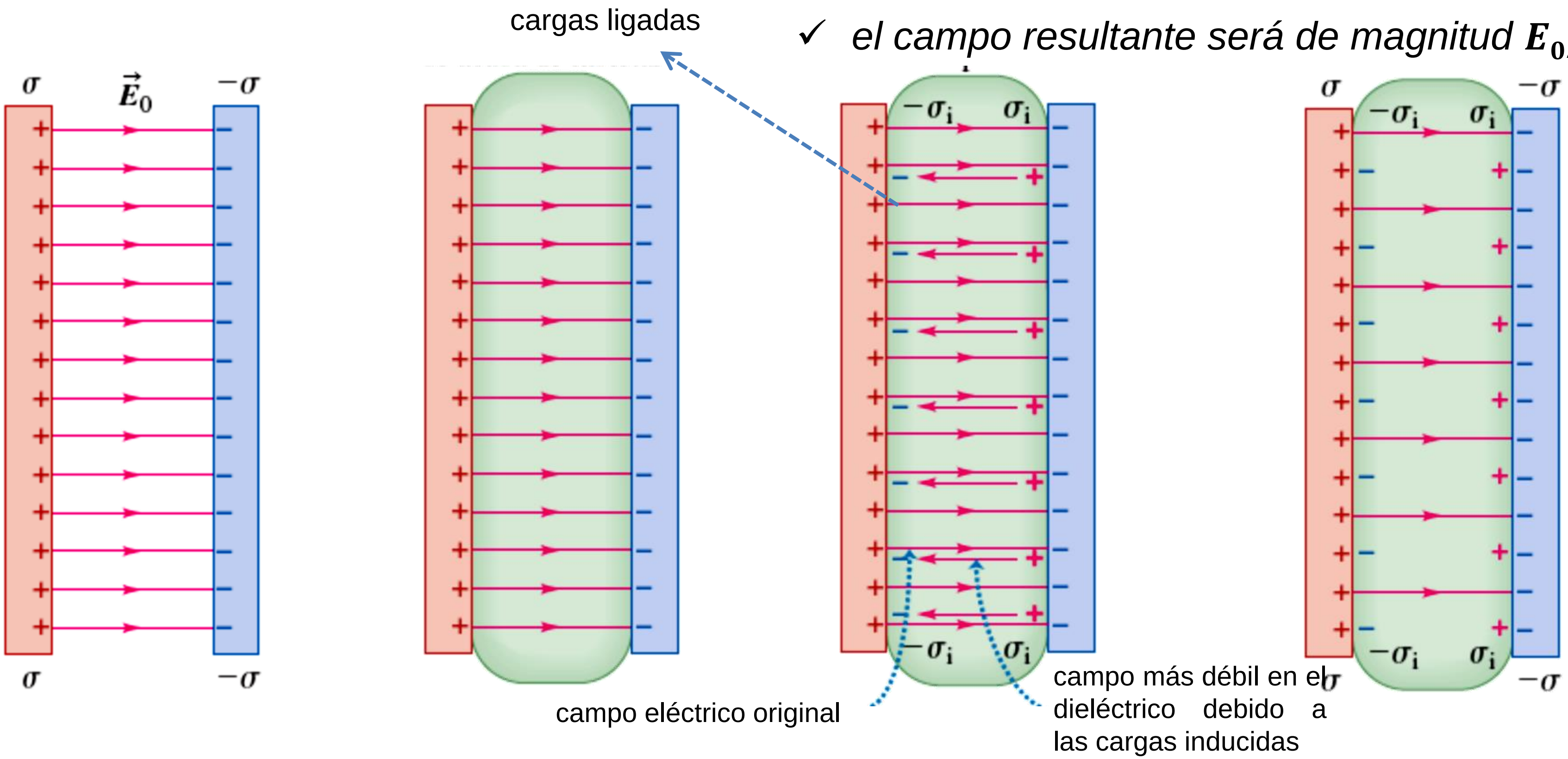


*Las moléculas del dieléctrico se p**olarizan** en la **dirección del campo externo***

¿qué pasa en un capacitor con dieléctrico?

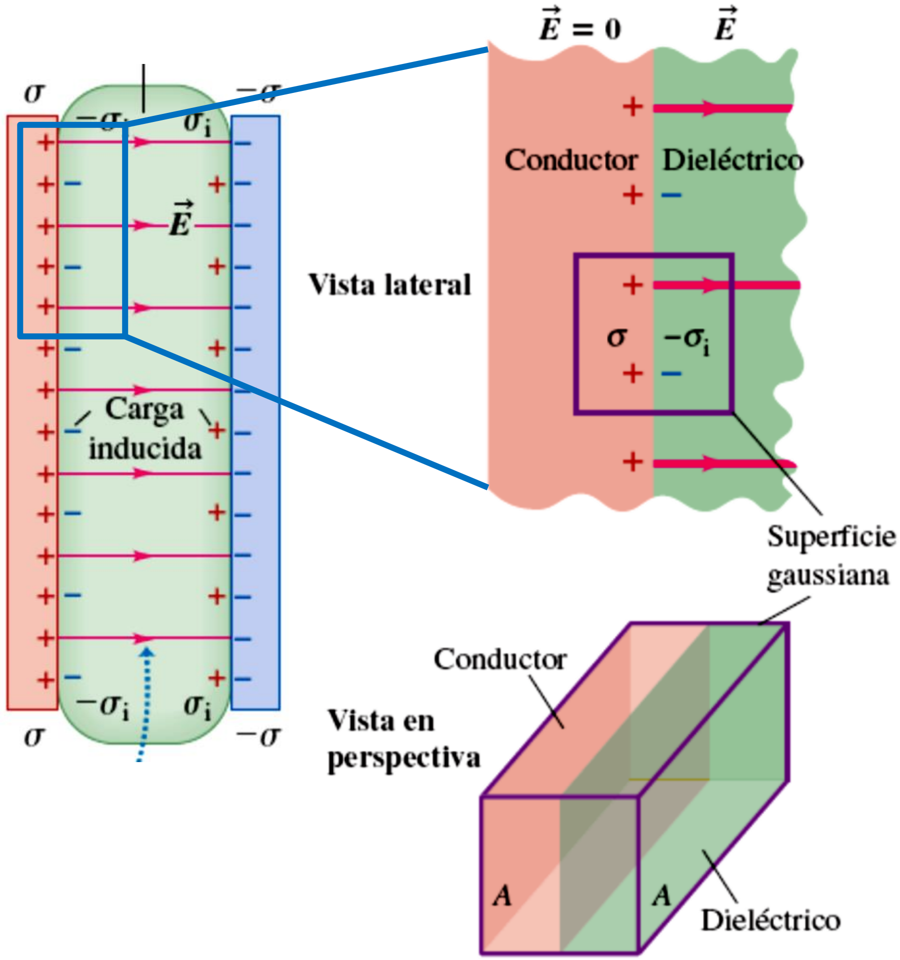
Analicemos el comportamiento de un dieléctrico cuando se inserta en el campo entre un par de placas de capacitor con cargas opuestas.

- ✓ *campo eléctrico de magnitud E_0 entre dos placas con carga*
- ✓ *se introduce un dieléctrico con constante dieléctrica k*
- ✓ *las **cargas superficiales inducidas** crean un campo*
- ✓ *el campo resultante será de magnitud $\boldsymbol{E_0}/\kappa$*



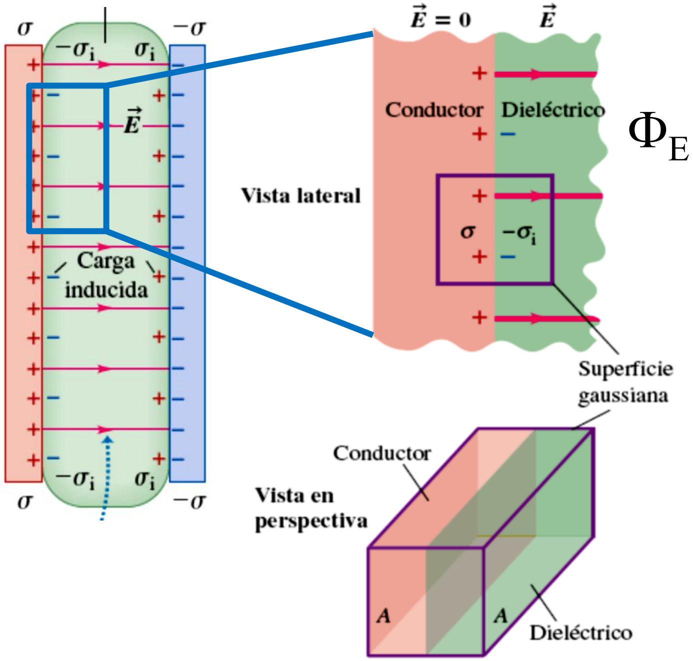
*El **campo eléctrico neto** entre las placas se **debilita***

LEY DE GAUSS CON UN DIELÉCTRICO



- ✓ *tenemos un capacitor con dieléctrico*
- ✓ *analizamos la pared izquierda del capacitor/dieléctrico*
- ✓ *elegimos una superficie gaussiana que es una caja rectangular*
- ✓ *área A*
- ✓ $\vec{E} = 0$ (cond); $\vec{E}$ (diel)
- ✓ $Q_{enc} = (\sigma - \sigma_i)A$
- ✓ *la ley de Gauss dice*

$$\Phi_{\mathrm{E}} = \oint \overrightarrow{E_i} \cdot \widehat{n}_i dA = \oint E cos\theta dA = \oint E_n dA = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$



$$\Phi_E = \oint \overrightarrow{E_i} \cdot \widehat{n}_i dA = \oint E cos\theta dA = \oint E_n dA = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$Q_{enc} = (\sigma - \sigma_i)A$$

- ✓ σ_i *es la densidad de carga inducida*
- ✓ *recordemos que la magnitud del* $\overrightarrow{E}$ *será igual a:*

$$E = \frac{\sigma_{net}}{\epsilon_0}$$

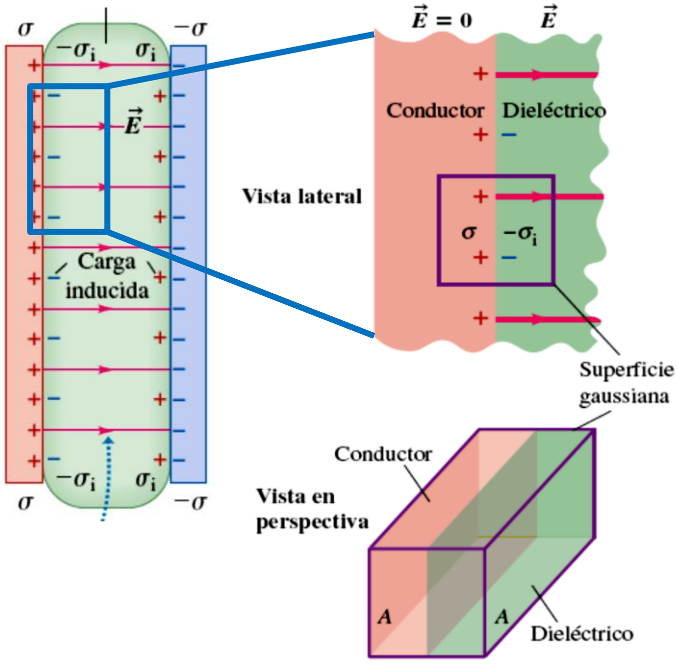
- ✓ *E sin y con dieléctrico*

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \qquad E = \frac{(\sigma - \sigma_i)}{\epsilon_0} \qquad E = \frac{E_0}{\kappa}$$

- ✓ *reordenando las expresiones*

$$E = \frac{E_0}{\kappa} = \frac{(\sigma - \sigma_i)}{\epsilon_0}$$

$$\sigma - \sigma_i = \sigma /$$



$$\Phi_E = \oint E_n dA = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} = \frac{(\sigma - \sigma_i)A}{\epsilon_0}$$

$$\sigma - \sigma_i = \sigma /$$

✓ *reemplazamos y nos queda*

$$EA = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} = \frac{(\sigma - \sigma_i)A}{\epsilon_0} = \frac{A}{\epsilon_0}\left(\frac{\sigma}{\kappa}\right)$$

$$\kappa EA = \sigma \frac{A}{\epsilon_0}$$

$\kappa\vec{\boldsymbol{E}}$*, el flujo a través de la superficie gaussiana igual a la* ***carga libre*** *encerrada* σA *dividida entre* ϵ_0

$$\boxed{\oint K\vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{enc-libre}}}{\epsilon_0}}$$

donde Q_{enc_libre} *es la carga libre total encerrada por la superficie gaussiana*

FIBRILACIÓN VENTRICULAR: ritmo de paro cardíaco