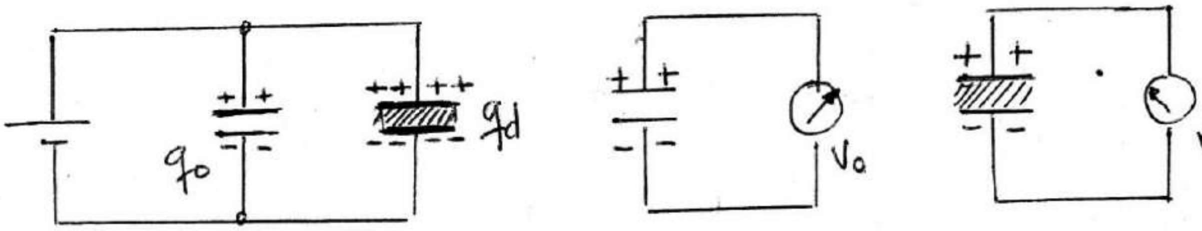
DIELÉCTRICOS

Se llama dieléctrico a un NO CONDUCTOR. O AISLANTE.

Faraday vio que el capacitor conectado como en "a", tenía más



caso ⓐ caso ⓑ

carga con dieléctrico que sin dieléctrico. También vio que el capacitor conectado como en "b", tenía menos potencial con dieléctrico que sin dieléctrico.

Los casos "a" y "b" demuestran de una u otra forma, que el capacitor tiene más capacitancia con dieléctrico que sin dieléctrico.

•) LA CONSTANTE "K" DEL DIELÉCTRICO (adimensional).

Vamos a caracterizar a un dieléctrico mediante la constante K. Siendo

$$\boxed{K = \frac{\text{CAPACITANCIA CON DIELÉCTRICO}}{\text{CAPACITANCIA SIN DIELÉCTRICO}}}$$

→ Constante dieléctrica K. del material. mide la AMPLIFICACIÓN DE CAPACITANCIA respecto a la del vacío.

Entonces $\boxed{C_d = K C_o}$

C_d = Capacitancia con dieléctrico

C_o = Capacitancia sin dieléctrico.

Del caso "a" también se deduce que $q_d = q_0$ (a V constante

Del caso "b" también se deduce que $V_d = \frac{V_0}{K}$ (a q constante

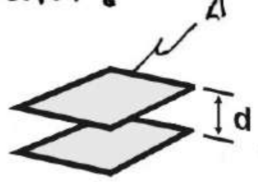
K mide la ATENUACIÓN DE LAS Fuerzas Electrostáticas con respecto al Vacío

•) CAPACITANCIA DE CUALQUIER CONDENSADOR

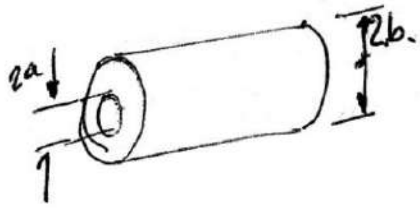
Se puede escribir $C = K \varepsilon_0 L$. $[L] = m$

Siendo L un factor que depende de la geometría del capacitor:

•) para el Capacitor de placas paralelas $L = \frac{A}{d}$



•) para el Capacitor Cilíndrico $L = \frac{2\pi l}{\ln(b/a)}$

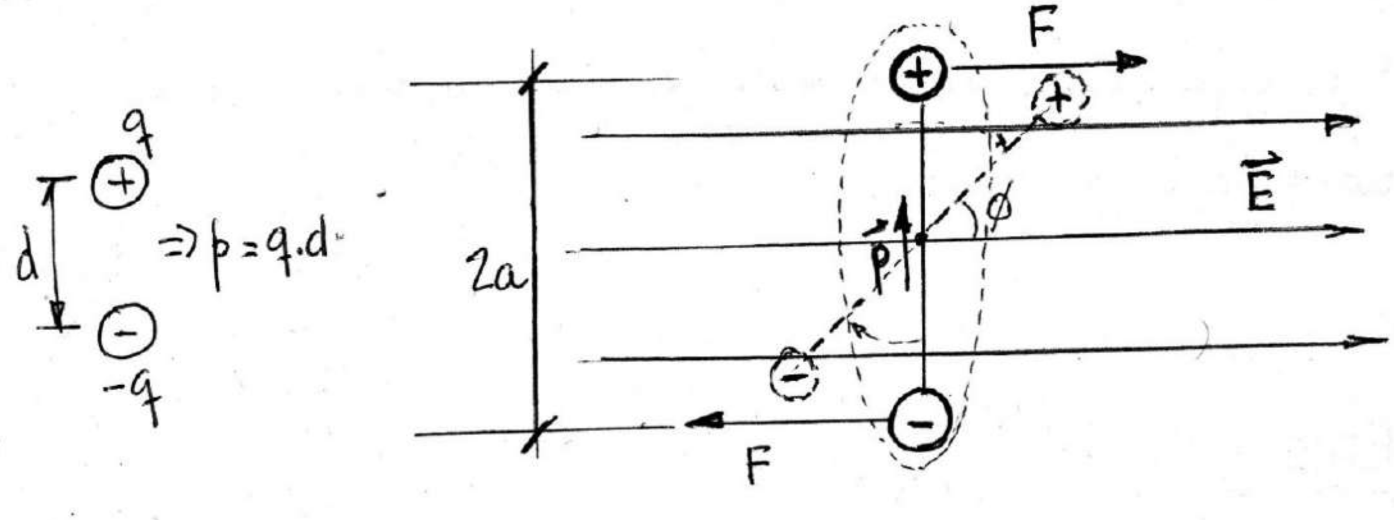


•) para el Capacitor Esférico $L = 4\pi \frac{ab}{b-a}$

•) Podemos llamar ε a: $\varepsilon = K \varepsilon_0$

COMPORTAMIENTO ATÓMICO

Materiales Polares: (Agua por ejemplo). Sus moléculas son polarizadas permanentemente, (dipolos). Estas moléculas



experimentan un momento $\vec{\tau} = \vec{p} \wedge \vec{E}$ en presencia de $\vec{E}$, que tiende a alinearlo con dicho campo $\vec{E}$. (Se define $p = 2aq$ para un dipolo)

$$\therefore \quad \tau = 2Fa \operatorname{sen}\phi = F\, 2a \operatorname{sen}\phi = 2aq.E \operatorname{sen}\phi = p.E.\operatorname{sen}\phi .$$

$$\therefore \quad \boxed{\vec{\tau} = \vec{p} \wedge \vec{E}.}$$ $\vec{p} \equiv$ MOMENTO DE DIPOLO ELÉCTRICO

Por lo tanto a mayor campo $\vec{E}$, mayor será el ALINEAMIENTO DE LOS DIPOLOS MOLECULARES. Por esta razón veremos que q_P son proporcionales a q_L.

$$q_P = q_L \left(1 - \frac{1}{K}\right)$$

Materiales NO Polares: Sus moléculas No son dipolos permanentes. De todos modos adquieren polaridad por la inducción de $\vec{E}$ que tiende a separar cargas positivas de cargas negativas. Estas moléculas tendrían un momento de dipolo eléctrico inducido.

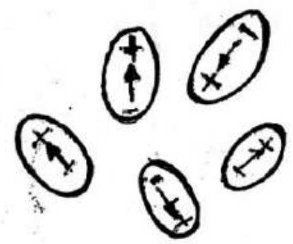
•) <u>Efectos de la Temperatura</u>:

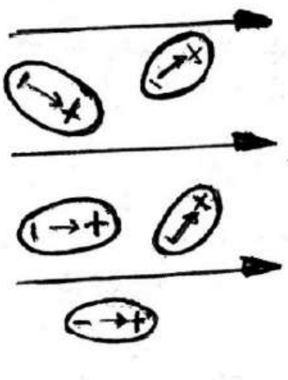
La Temperatura produce agitación térmica y la agitación térmica desalínea a los dipolos del dieléctrico.

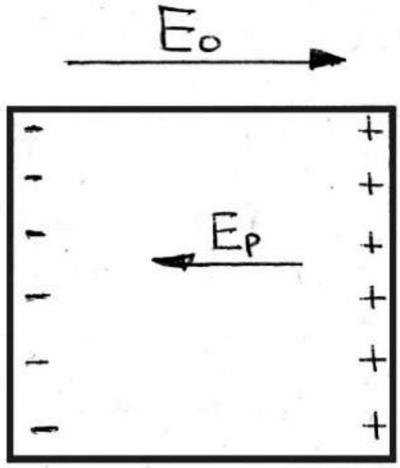
∴ La Capacitancia de un Capacitor CON DIELÉCTRICO disminuye al elevarse la Temperatura.

•) EFECTO DEL DIELÉCTRICO

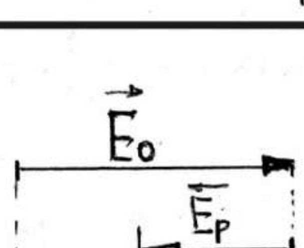
Si se coloca un dieléctrico en un campo eléctrico, aparecen cargas superficiales inducidas cuyo efecto es <u>debilitar AL CAMPO ORIGINAL</u> dentro del dieléctrico.







La placa dieléctrica se polariza ligeramente aunque siga siendo neutra. La carga INDUCIDA positiva es igual a la carga INDUCIDA negativa dentro del dieléctrico. Éste será siempre neutro.



$$\boxed{\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_p}$$

$\vec{E}_o \equiv$ Campo eléctrico externo (en el vacío).
y que se superpone al de polarización
Este E_o está asociado a las Cargas que van en las placas del capacitor. (carga Libre).

$\vec{E}_p \equiv$ ASOCIADO a Cargas superficiales inducidas en el dieléctrico (Carga de polarización).

$\vec{E} \equiv$ Suma Vectorial de $\vec{E}_o$ y $\vec{E}_p$. Asociado a TODAS LAS CARGAS $\Rightarrow$ Libres + Polarización.

Evidencia en el caso "b" del ensayo inicial: Al poner el dieléctrico, la tensión del capacitor aislado disminuyó $\therefore$ $\boxed{V = \frac{V_o}{K}}$

Esto sucedió porque el campo eléctrico que va de una placa a la otra disminuyó por efecto de la Superposición del dieléctrico: $\boxed{E = E_o/K}$

$V = E\,d \therefore$ Si E disminuye, $\Rightarrow$ V disminuye También.

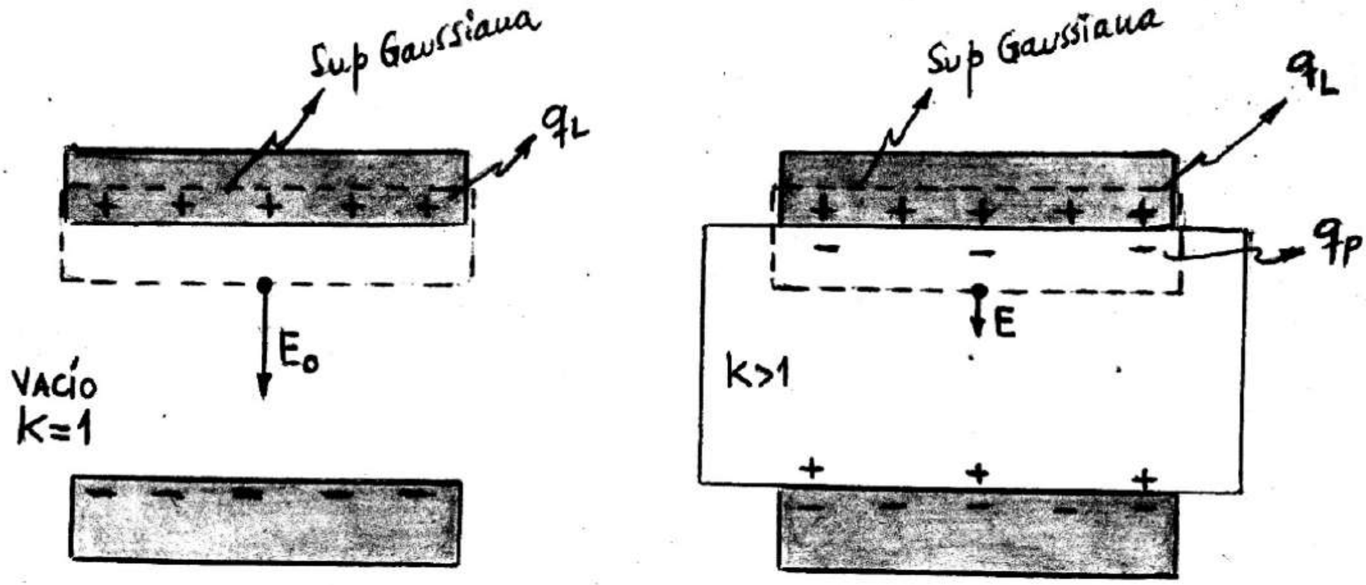
Es decir $\boxed{\frac{E_o}{E} = \frac{V_o}{V} = K}$ La constante dieléctrica K mide también la ATENUACIÓN DE E (y $\therefore$ de V) respecto del vacío.

(El campo E es el Voltaje por unidad de longitud).

<u>RESUMIENDO</u>: La constante DIELÉCTRICA RELATIVA MIDE: (respecto del vacío).

-) AMPLIFICACIÓN DE CAPACITANCIA
-) AMPLIFICACIÓN DE CARGA LIBRE en placas de Capacitor polarizado con V_g
-) ATENUACIÓN DE CAMPO $\vec{E}$ entre placas de Capacitor aislado.
-) ATENUACIÓN DE VOLTAJE V entre placas de Capacitor aislado.
-) EN GENERAL: K MIDE CUÁN BLANDO ES EL DIELÉCTRICO PARA POLARIZARSE

•) LA CARGA LIBRE Y LA CARGA INDUCIDA $\Rightarrow [q_L \text{ y } q_P]$



El vector que existe es el $\vec{E}$. El vector $\vec{E_0}$ existió cuando no había dieléctrico

CASO I: Por Gauss.

$$\varepsilon_0 E_0 A = q_L \quad (1)$$

$$\Rightarrow E_0 = \frac{q_L}{\varepsilon_0 A} \quad (2)$$

CASO II: Por Gauss.

$$\varepsilon_0 E A = q_L - q_P. \quad (3)$$

$$\Rightarrow E = \frac{q_L - q_P}{\varepsilon_0 A} \quad (4)$$

•) TRÁMITE PARA OMITIR LA VARIABLE q_P: Se busca $q_L = q_L(q_P)$

Vamos a suponer que la carga libre q_L es dato. (Punto de partida).

Entonces **NO CONOCEMOS LA q_P**. Habrá que hallarla a partir de K y q_L.

Para ello tomamos las expresiones (2) y (4), y hacemos el cociente

$$\frac{E_0}{E} = \frac{q_L}{q_L - q_P}$$

Por lo dicho en el punto anterior sabemos que $\frac{E_0}{E} = K$.

Por lo tanto: $\frac{q_L}{q_L - q_P} = K \Rightarrow \boxed{q_L - q_P = \frac{q_L}{K}} \Rightarrow$

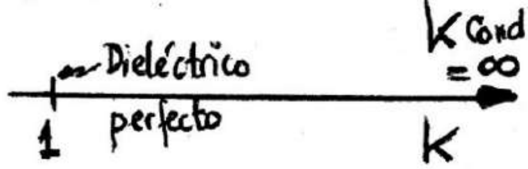
Finalmente: $\boxed{q_P = q_L\left(1 - \frac{1}{K}\right)}$

RANGO de VALORES DE K:

Esta expresión muestra que si el dieléctrico es el aire (ó vacío):

$k = 1 \Rightarrow q_P = 0 \longrightarrow$ RIGIDEZ TOTAL $\Rightarrow$ Dieléctrico perfecto.

$k = \infty \Rightarrow q_P = q_L \longrightarrow$ RIGIDEZ NULA $\Rightarrow$ CONDUCTOR.



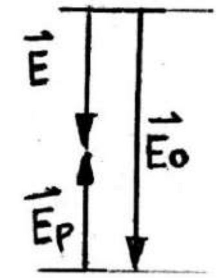
•) UN NUEVO VECTOR ELÉCTRICO $\vec{D}$

Como la q_P NO es dato del problema, sería conveniente transformar la expresión (3) tal que sólo figure "q_L" y No "q_P".

De la deducción anterior surge que $\boxed{q_L - q_P = \frac{q_L}{K}}$

Remplazando en (3) queda (3')

$$\boxed{\varepsilon_0 E A = \frac{q_L}{K}} \rightarrow (3')$$



Con lo que el campo E de la expresión (4) se calcularía como:

$$\boxed{E = \frac{q_L}{\varepsilon_0 K A}} \longrightarrow (4')$$

El $\vec{E}$ se origina tanto por q_L como por q_P. Sin embargo podemos calcularlo como si surgiese exclusivamente de q_L

Con esto hemos hecho desaparecer a q_P de nuestras ecuaciones.

ESTO NO ES MAGIA. Fue posible porque la q_P NO ES INDEPENDIENTE DE q_L sino que es carga INDUCIDA por q_L ∴ A mayor $q_L \Rightarrow$ mayor q_P y viceversa. Dicha proporción es $q_P/q_L = \left(1 - \frac{1}{K}\right)$

Reordenando las ecuaciones quedaría

CASO I : Por Gauss.	CASO II : Por Gauss
$\varepsilon_0 E_0 A = q_L$ (1)	$\varepsilon_0 E A = q_L - q_P$ (3)
$\Rightarrow E_0 = \dfrac{q_L}{\varepsilon_0 A}$ (2)	$\varepsilon_0 E A = \dfrac{q_L}{K}$ (3')
	$E = \dfrac{q_L - q_P}{\varepsilon_0 A}$ (4) $= E_0 - E_P \Rightarrow \begin{cases} E_0 = \dfrac{q_L}{\varepsilon_0 A} \\ E_P = \dfrac{q_P}{\varepsilon_0 A} \end{cases}$
	$E = \dfrac{q_L}{\varepsilon_0 K A}$ (4')

Ahora bien; seguimos transformando la (4') de la siguiente manera: $\boxed{K\varepsilon_0 E A = q_L} \rightarrow (5)$

Y ahora vamos a hacer DOS COSAS:

1) Primero comparemos la (5) con la (1): Vemos que la ecuación (1) es un caso particular de (5) para cuando $K = 1$. (vacío). $\Rightarrow E = E_0$. Ya sabíamos que $E_0 = KE$

2) Observemos la expresión (5) detenidamente:

De los ensayos CON y SIN dieléctrico sobre un mismo capacitor resulta que:

q_L : constante al poner y sacar el dieléctrico DE UN CAPACITOR AISLADO

A : constante para un mismo capacitor.

ε_0 : Siempre la misma.

E = variable según con o sin dieléctrico.

K = variable según con o sin dieléctrico.

PERO: Dado que q_L ; A y ε_0 son ⟶ constantes, entonces el producto **K E = constante**. Por lo tanto.

Si K se duplica ⇒ E se reduce a la mitad y viceversa.

Si revemos la página Dieléctricos 3, ya se tiene el valor de dicha constante $\frac{E_0}{E} = K \Rightarrow KE = E_0$ que es el Campo Eléctrico del Capacitor SIN DIELÉCTRICO

Entonces SE FABRICÓ UN VECTOR matemático llamado VECTOR DESPLAZAMIENTO $\boxed{\vec{D} = \varepsilon_0 K \vec{E}}$ o bien $\boxed{\vec{D} = \varepsilon \vec{E}}$

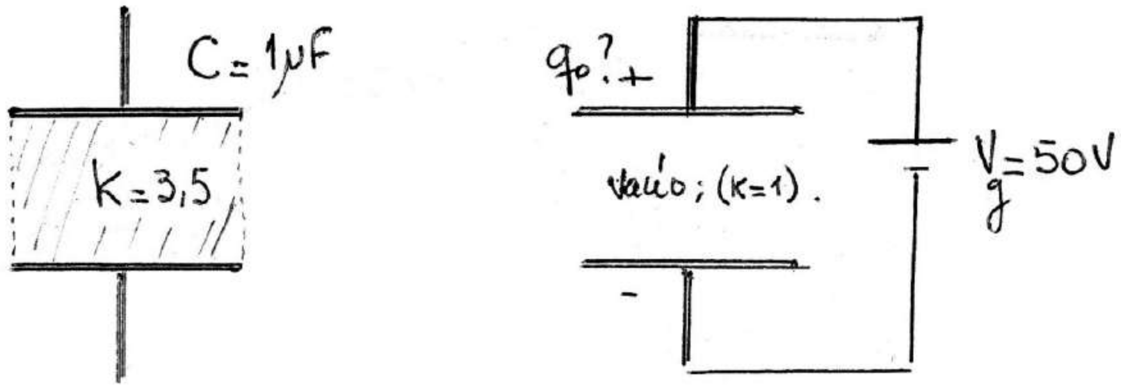
LA VENTAJA DE ESTE VECTOR $\vec{D}$ ES QUE EL VECTOR ES EL MISMO PARA CUALQUIER DIELÉCTRICO QUE SEA COLOCADO EN EL CAPACITOR AISLADO – Si cambio el dieléctrico, entonces cambio **K**.

Si cambió K entonces el E cambiará de forma tal que $\boxed{k.E = E_0 = \text{constante}}$

Además, D depende de q_L que será siempre la misma aunque cambie el dieléctrico.

EJERCICIO 1

Un capacitor de placas paralelas contiene papel como dieléctrico ($k = 3{,}5$) . Ya con el dieléctrico su $C = 1\ \mu F$. ¿Cuál será la carga q_0 del capacitor cuando se lo conecta a una batería de 50 V? (Se ha quitado el papel antes de conectarlo)



Solución

$q_0 = C_0 V_g$ pero NO conocemos C_0 . (capacitancia con dieléctrico vacío)

Pero conocemos la capacitancia C de ese mismo capacitor con dieléctrico K = 3,5 . Con C podremos calcular C_0 y luego q_0 .

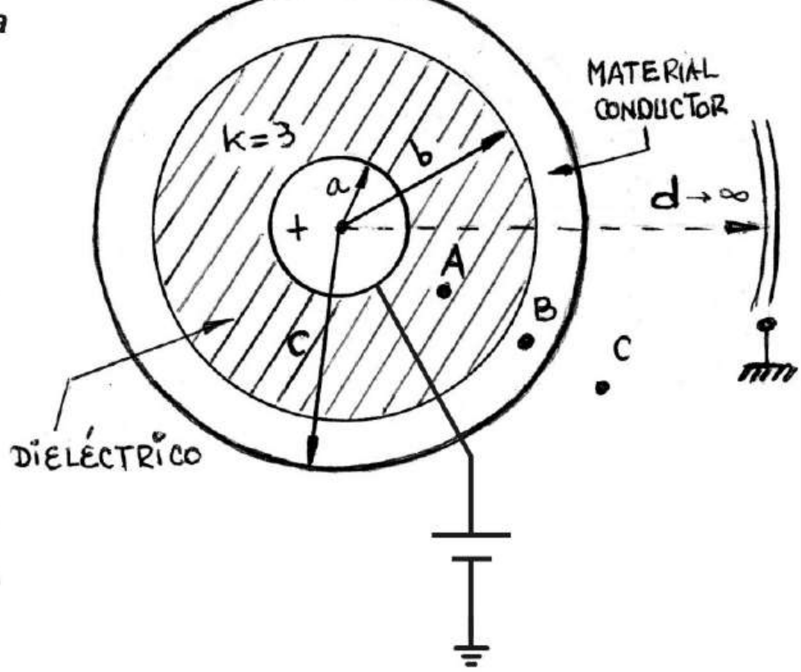
$$C = \frac{K\varepsilon_0 A}{d} \quad \text{y} \quad C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \Rightarrow \frac{C}{C_0} = \frac{\frac{K\varepsilon_0 A}{d}}{\frac{\varepsilon_0 A}{d}} = K$$

$$\therefore \frac{C}{C_0} = 3{,}5 \Rightarrow C_0 = \frac{C}{3{,}5} = \frac{1\mu F}{3{,}5}$$

Ahora $q_0 = C_0 V_g = \frac{C}{3{,}5} \times 50V = \frac{1\mu F}{3{,}5} \times 50V \Rightarrow \boxed{q_0 = 14{,}29\,\mu C}$

EJERCICIO 2

El sistema de la figura consta de una esfera conductora central de radio "a" cargada con una carga "q" y rodeada por una capa dieléctrica de constante dieléctrica "k". Todo esto está dentro de un cascarón esférico conductor de radio interno "b" y radio externo "c".
Hallar los valores de E y D en los puntos A, B y C.



DATOS: $q = 1\mu C$

$a = 2cm$ $\quad A = 3cm = 3\times10^{-2} m$

$b = 4cm$ $\quad B = 6cm = 6\times10^{-2} m$

$c = 8cm$ $\quad C = 10cm = 0{,}1 m$

Solución

Punto A : $E_A = \dfrac{q}{4\pi\mathcal{E} r_A^2}$ Siendo $\mathcal{E} = k\mathcal{E}_0$

$$\therefore \quad E_A = \frac{q}{4\pi\mathcal{E}_0 k r_A^2} = \frac{10^{-6}C \times 9\times10^9}{3\times(3\times10^{-2})^2} = \frac{9\times10^3}{3\times9\times10^{-4}} = 3{,}3\times10^6$$

$$\therefore \quad \boxed{E_A = 3{,}3\times10^6 \ N/C}$$

$$D_A = \mathcal{E} E_A = k\mathcal{E}_0 E_A = 3\times8{,}9\times10^{-12}\times3{,}3\times10^6 = 88{,}11\times10^{-6} \frac{Coul}{m^2}$$

$$\boxed{D_A = 88{,}11 \ \mu C/m^2}$$

Punto B : $E_B = 0$ (seno del conductor).

$D_B = \mathcal{E} E_B = 0$. $\quad \therefore \boxed{E_B = 0 \quad D_B = 0}$

Punto C : (VACÍO) $\therefore$ $E_C = \dfrac{q}{4\pi\mathcal{E}_0 r_C^2} = \dfrac{10^{-6}C \times 9\times10^9}{(10\times10^{-2})^2} = 9\times10^5 \dfrac{N}{C}$

$$\therefore \quad \boxed{E_C = 9\times10^5 N/C}$$

$$D_c = \varepsilon E_c = k_o \varepsilon_o E_c \quad \text{siendo } k_o = 1$$

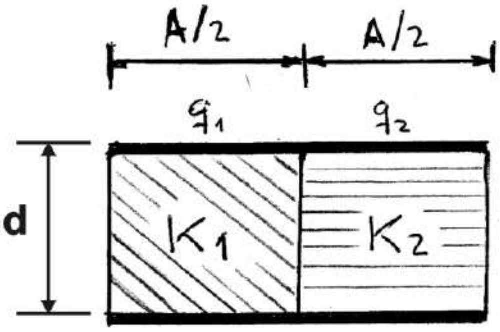
$$D_c = \varepsilon_o E_c = 8{,}9 \times 10^{-12} \times 9 \times 10^{5} \cong 80 \times 10^{-7} \frac{Coul}{m^2} = 8 \mu C/m^2$$

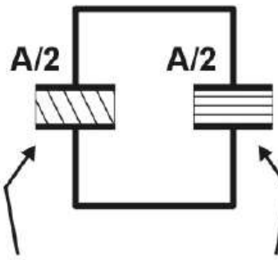
$$\therefore \quad \boxed{E_c = 9 \times 10^{5}\ N/C}$$

$$\boxed{D_c = 8 \mu C/m^2}$$

EJERCICIO 3 $\qquad 4\pi$

Calcular la capacitancia del capacitor plano de área "A" y distancia entre placas "d" y con dieléctricos de constantes "k1" y "k2" como se indica en la figura..





$$C_1 = \frac{\varepsilon_o k_1 A/2}{d} \qquad C_2 = \frac{\varepsilon_o k_1 A/2}{d}$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_o A}{d}\left(\frac{k_1 + k_2}{2}\right)$$

$$C = \frac{q}{V} = \frac{q_1 + q_2}{V} = \frac{(D_1 + D_2)}{E\,d}\left(\frac{A}{2}\right) = \frac{(\varepsilon_1 E + \varepsilon_2 E)}{E\,d}\frac{A}{2} = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{d}\left(\frac{A}{2}\right)$$

El $\vec{E}$ es el mismo en ambos dieléctricos. El $\vec{E}$ no cambia en la interfaz $\therefore E_{t1} = E_{t2}$.

$$\boxed{C = \frac{\varepsilon_o A}{d}\left(\frac{k_1 + k_2}{2}\right)}$$

IMPORTANTE:

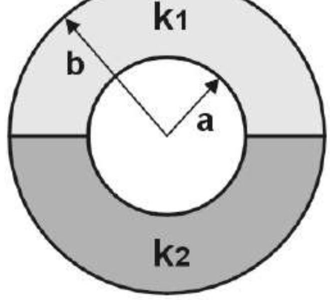
>) Cuando los dieléctricos se configuran de esta manera, se puede considerar como que hay dos capacitores en paralelo de área mitad.

>) El campo eléctrico en ambos dieléctricos es de idéntico valor. Siempre se cumple que en la frontera entre dos dieléctricos, la componente tangencial del campo eléctrico conserva el mismo valor.

>) La distribución de carga en las placas NO ES HOMOGÉNEA. Por lo tanto el vector desplazamiento es de diferente valor en cada sector del dieléctrico.

EJERCICIO 4

Calcular la capacitancia del capacitor esférico de radios interno y externos "a" y "b" respectivamente. Entre las esferas interna y externa hay dos dieléctricos de constantes "k_1" y "k_2" dispuestos como indica la figura.

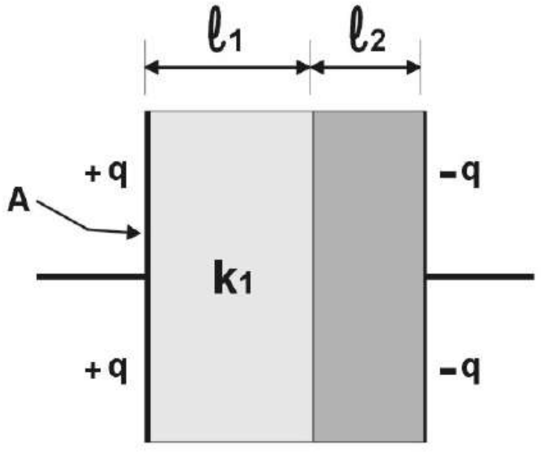


Con las conclusiones del ejemplo 3 puede calcularse:

$$\boxed{C = 4\pi\varepsilon_0\left(\frac{b\,.\,a}{b-a}\right)\left(\frac{k_1+k_2}{2}\right)}$$

EJERCICIO 5

Calcular la capacitancia del capacitor plano de área "A" y distancia entre placas "d" y con dieléctricos de constantes "k_1" y "k_2" como se indica en la figura..



$$C = \frac{q}{V_1+V_2} = \frac{q}{E_1 l_1 + E_2 l_2}$$

$$C = \frac{D.A}{\frac{D}{\varepsilon_1} l_1 + \frac{D}{\varepsilon_2} l_2} = \frac{A}{\frac{l_1}{\varepsilon_1} + \frac{l_2}{\varepsilon_2}} = \frac{\varepsilon_1\varepsilon_2 A}{\varepsilon_2 l_1 + \varepsilon_1 l_2} = \boxed{\varepsilon_0 A \frac{k_1 k_2}{k_2 l_1 + k_1 l_2}}$$

IMPORTANTE:

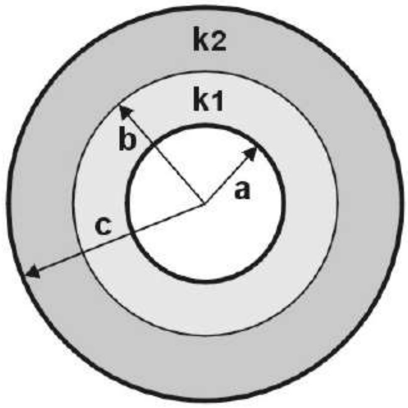
>) Cuando los dieléctricos se configuran de esta manera, se puede considerar como que hay dos capacitores en serie de área "A" y distancia emtreplacas l_1 y l_2.

>) El vector desplazamiento en ambos dieléctricos es de idéntico valor. Siempre se cumple que en la frontera entre dos dieléctricos, la componente normal del vector desplazamiento conserva su valor.

>) La distribución de carga en las placas ES HOMOGÉNEA. Por lo tanto el campo D en un dieléctrico es de diferente valor en cada sector.

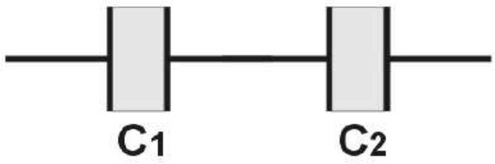
EJERCICIO 6

Calcular la capacitancia del capacitor esférico de radios interno y externos "a" y "b" respectivamente. Entre las esferas interna y externa hay dos dieléctricos de constantes "k1" y "k2"dispuestos como indica la figura.



Con las conclusiones del ejemplo 5 puede calcularse:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$



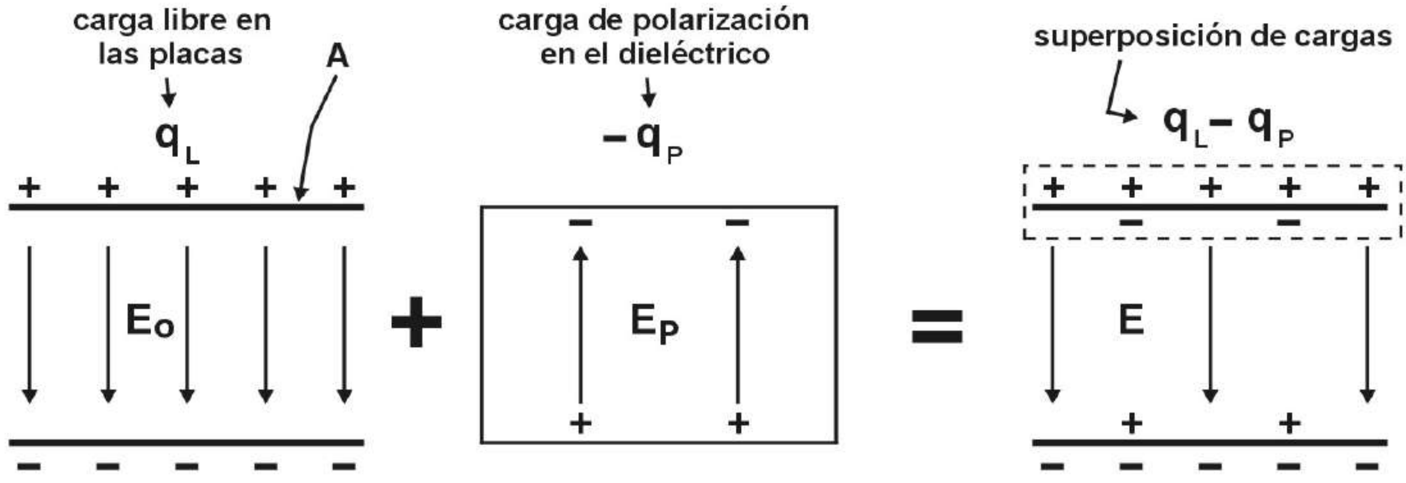
$$C_1 = 4\pi\varepsilon_o\, k_1 \left(\frac{b \cdot a}{b - a}\right)$$

$$C_2 = 4\pi\varepsilon_o\, k_2 \left(\frac{c \cdot b}{c - b}\right)$$

(ver página siguiente)

SUPERPOSICIÓN DE CAMPOS EN EL DIELÉCTRICO

Se puede detallar cuantitativamente la coexistencia de campos en el dieléctrico del capacitor mediante el principio de superposición..

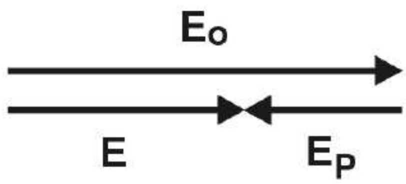


$\overrightarrow{E_O}$ = **Campo eléctrico generado por las cargas libres**

$\overrightarrow{E_P}$ = **Campo eléctrico generado por las cargas de polarización**

$\overrightarrow{E}$ = **Campo eléctrico resultante**

La expresión analítica de la superposición vectorial es:



$$\overrightarrow{E_O} + \overrightarrow{E_P} = \overrightarrow{E} \quad \left(\frac{N}{C}\right)$$

Multiplicando miembro a miembro por $\quad [\varepsilon_o] = \dfrac{C^2}{N.m^2}$

$$\underbrace{\varepsilon_o \overrightarrow{E_O}}_{\overrightarrow{D}} + \underbrace{\varepsilon_o \overrightarrow{E_P}}_{(-\overrightarrow{P})} = \varepsilon_o \overrightarrow{E} \quad \left(\frac{C}{m^2}\right)$$

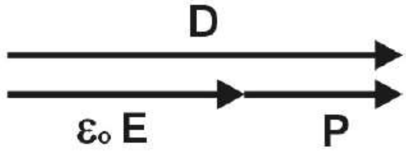
$\overrightarrow{D}$ = **Vector Desplazamiento. Sólo depende de la carga libre.** $D = \dfrac{q_L}{A}$

Las líneas de D nacen en la cargas libres positivas y terminan en las cargas libres negativas.

$\overrightarrow{P}$ = **Vector Polarización. Sólo depende de la carga de polarización.** $P = \dfrac{q_P}{A}$

ES IMPORTANTE NOTAR que el vector P se define tal que sus líneas nacen en las cargas de polarización negativas y terminan en las cargas de polarización positivas.

$$\therefore \quad \boxed{\vec{D} = \varepsilon_o \vec{E} + \vec{P} \quad \left(\frac{C}{m^2}\right)}$$



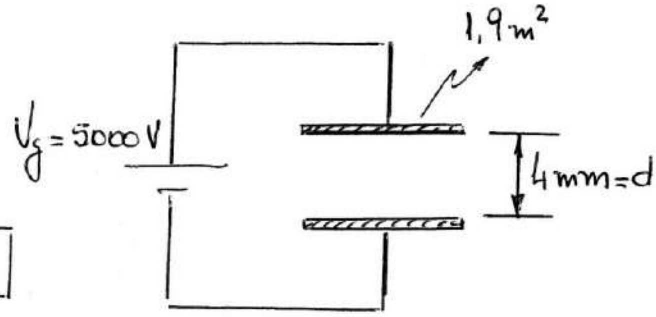
CÁLCULO DEL VECTOR POLARIZACIÓN

$$\left.\begin{aligned} \vec{P} &= \vec{D} - \varepsilon_o \vec{E} \\ \vec{D} &= \varepsilon_o k \vec{E} \end{aligned}\right\} \Longrightarrow \vec{P} = \varepsilon_o k \vec{E} - \varepsilon_o \vec{E} \quad \therefore \quad \boxed{\vec{P} = \varepsilon_o (k-1) \vec{E}}$$

EJERCICIO 7

Las láminas de un capacitor plano separadas 4 mm, tienen cada una 1,9 m^2 de área y se encuentran en el vacío. Se aplica al capacitor una diferencia de potencial de 5000 V.
Calcular despreciando efectos de borde:
(**a**) La capacidad, (**b**) La carga en cada lámina, (**c**) La densidad superficial de carga, (**d**) El valor del campo eléctrico, (**e**) El módulo del vector desplazamiento eléctrico en el espacio comprendido entre las láminas. Compare este resultado con el obtenido en el punto (**c**).

Solución



ⓐ $C = \dfrac{8{,}85 \times 10^{-12} \times 1{,}9}{4 \times 10^{-3}} = \boxed{4{,}2\,nF}$

ⓑ $Q = C \cdot V = 4{,}2 \times 10^{-9}\,F \times 5 \times 10^{3}\,Volts = 21 \times 10^{-6}\,C \quad \therefore \quad \boxed{Q = 21\,\mu C}$

ⓒ $\delta_q = \dfrac{Q}{A} = \dfrac{21\,\mu C}{1{,}9\,m^2} = 11{,}1\,\dfrac{\mu C}{m^2}$

ⓓ $E = \dfrac{V}{d} = \dfrac{5000\,V}{4 \times 10^{-3}\,m} = 1.250.000\,\dfrac{V}{m} = 1{,}25 \times 10^{6}\,\dfrac{V}{m}$

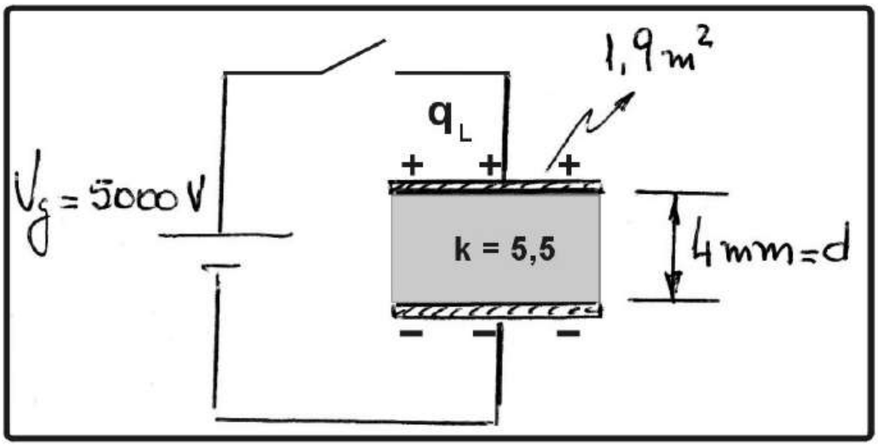
ⓔ $D = \varepsilon E = \varepsilon_o E = 8{,}85 \times 10^{-12} \times 1{,}25 \times 10^{6} = 11{,}1\,\dfrac{\mu C}{m^2}$. Coincide con δ_q.

Esto es por GAUSS, $\underbrace{\varepsilon_o E}_{D} A = Q \Rightarrow D \cdot A = Q \Rightarrow D = \dfrac{Q}{A} = \delta_q$

CONTINUA EN PÁGINA SIGUIENTE

Finalmente se desconecta la fuente del capacitor y se rellena completamente el espacio entre placas con mica (k = 5,5).
RECALCULAR los valores de:

a) Capacitancia
b) Diferencia de potencial
c) Desplazamiento
e) Campo eléctrico
f) Polarización



Solución

***a) Capacitancia con dieléctrico* = Cd**

$$Cd = k \cdot C = 5{,}5 \cdot 4{,}2\ nF \quad \therefore \quad \boxed{Cd = 23{,}1\ nF}$$

***b) Diferencia de Potencial con dieléctrico* = Vd**

La carga libre no se altera con la desconexión

La tensión disminuyó al insertar el dieléctrico

$$Vd = \frac{q_L}{Cd} = \frac{21\ \mu C}{23{,}1\ nF} \quad \therefore \quad \boxed{Vd = 909{,}1\ Volt}$$

c) El vector desplazamiento no altera con la desconexión dado que la carga libre es la tampoco cambió.

$$Dd = D \quad \therefore \quad \boxed{Dd = 11{,}1\ \frac{\mu C}{m^2}}$$

***d) El vector campo eléctrico* E**

$$E = \frac{Dd}{k \cdot \varepsilon_o} = \frac{11{,}1\ \frac{\mu C}{m^2}}{5{,}5 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \frac{C^2}{N.m^2}} \quad \therefore \quad \boxed{E = 228.043{,}1\ \frac{Volt}{m}}$$

e) Polarización

$$P = \varepsilon_o (k-1) E = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \frac{C^2}{N.m^2}\ (5{,}5 - 1)\ 228.043{,}1\ \frac{N}{C} \quad \therefore \quad \boxed{P = 9{,}1\ \frac{\mu C}{m^2}}$$

CONCLUSIÓN: Se verifica la expresión $\boxed{\vec{D} = \varepsilon_o \vec{E} + \vec{P} \quad \left(\frac{C}{m^2}\right)}$