

⇨ 1.- El explosor de esferas es un condensador formado por dos electrodos metálicos esféricos del mismo radio R , situados uno frente al otro y a una distancia entre sus centros D . Funciona de forma muy parecida a un condensador plano, pero al cambiar la geometría de los conductores (electrodos), cambian las formas de las líneas de fuerza (figuras 1 y 2). Una forma de simplificar el estudio electrostático del explosor es sustituyendo la esfera conductora que se encuentra a mayor potencial (V_a) por dos cargas puntuales positivas q_{0+} y q_{1+} situadas en el centro O de la esfera y a una distancia d del centro, respectivamente, y la esfera conductora que se encuentra a menor potencial (V_b) sustituyéndola por dos cargas puntuales negativas q_{0-} y q_{1-} situadas en el centro O' de la esfera y a una distancia d del centro, respectivamente (ver figura 3). El medio que separa los electrodos es aire, de permitividad ϵ_0 .

a) Calcular el flujo del vector intensidad de campo eléctrico, Φ_E , que atraviesa una superficie esférica centrada en el punto O , y de radio $2R = 10$ cm.

b) Calcular el vector intensidad de campo eléctrico \vec{E} en los puntos a y b de la línea que une los centros de las cargas, indicando claramente su dirección y sentido.

Datos: $q_{0+} = 278$ nC, $q_{0-} = -278$ nC, $q_{1+} = 99$ nC, $q_{1-} = -99$ nC, $d = 1,79$ cm, $R = 5$ cm, $D = 14$ cm, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ C²/N m²

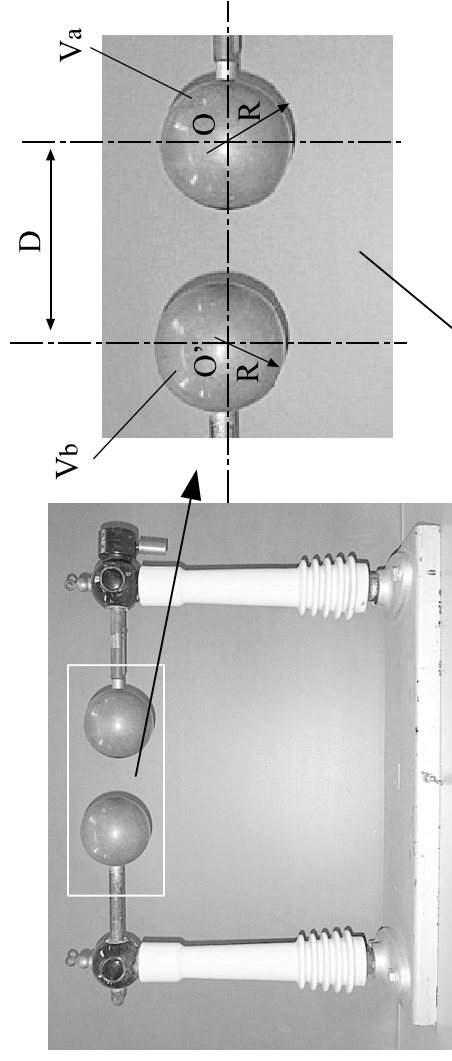


Figura 1

Figura 2

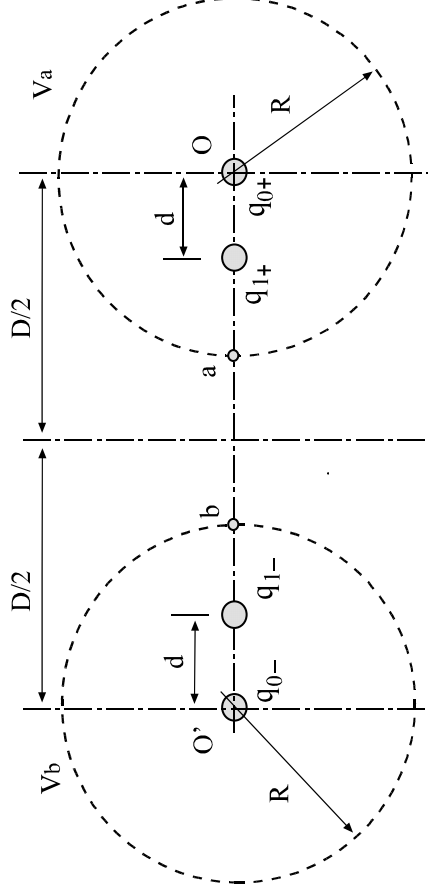
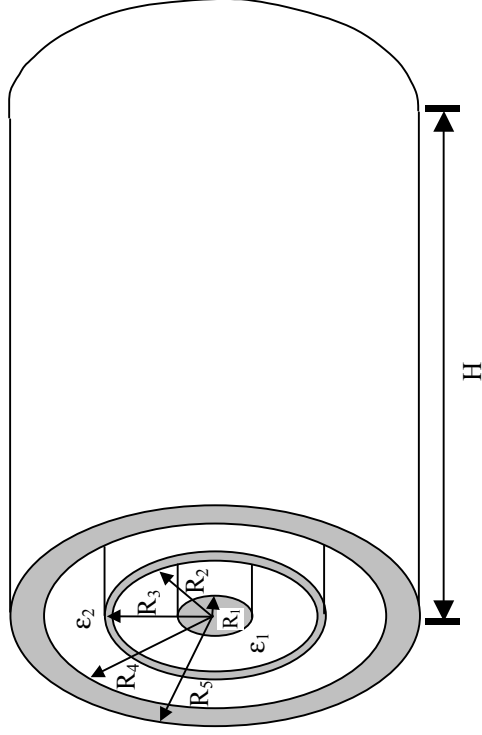


Figura 3

Nota: Los alumnos que se presentan a los dos parciales, deben realizar únicamente los apartados marcados con ⇨



2.- Tenemos un tramo de cable coaxial con doble malla, representado en la figura, formado por tres conductores: el central de radio R_1 , la malla 1 entre R_2 y R_3 y la malla 2 entre R_4 y R_5 , separados por sus respectivos dieléctricos.



a) Calcular la capacidad del conjunto desde R_1 hasta R_5 .

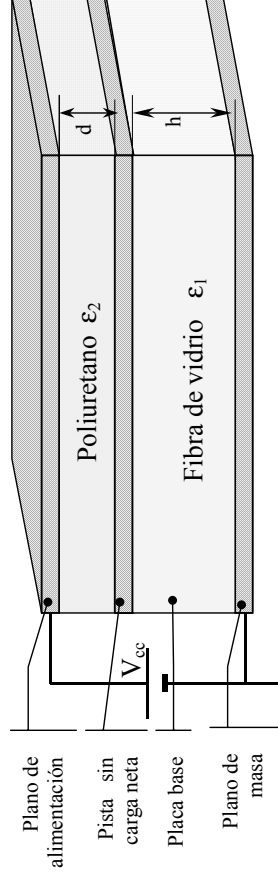
b) Si conectamos la malla 1 a un potencial V_0 respecto de tierra y el conductor central y la malla 2 a tierra, calcular: Las cargas en la parte interior y exterior de la malla 1 y los campos eléctricos en ambos dieléctricos indicando claramente su dirección y sentido.

Datos: $\epsilon_1 = 20 \cdot \epsilon_0$; $\epsilon_2 = 70 \cdot \epsilon_0$; $R_1 = 2$ mm; $R_2 = 5$ mm; $R_3 = 6$ mm; $R_4 = 10$ mm; $R_5 = 11$ mm; $H = 25$ m; $V_0 = 30$ V.

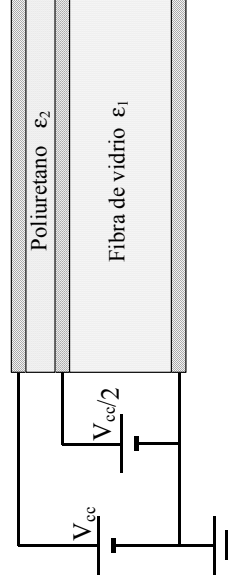
Nota: Los alumnos que se presentan a los dos parciales, deben realizar únicamente los apartados marcados con

3.- Una placa de circuito impreso multicapa consiste en una base de fibra de vidrio de permitividad ϵ_1 y espesor h . En ambas caras de la base se han depositado capas de cobre aisladas. En la cara superior se ha añadido una capa de poliuretano aislante, de permitividad ϵ_2 y espesor d , y sobre ella otra capa de cobre. Para evitar en lo posible interferencias y facilitar el diseño, la capa conductora inferior se conecta a tierra (lo que se suele denominar “plano de masa”) y la superior (plano de alimentación) se conecta a la tensión de alimentación, V_{cc} respecto a tierra. El grosor de las superficies conductoras es δ y se puede obviar el efecto de la deformación de las líneas de campo.

a) Si la pista interior se encuentra sin carga neta, calcular su potencial respecto a tierra.



b) Si la pista interior se conecta ahora a $V_{cc}/2$ respecto al plano de masa, calcular la densidad de carga real almacenada en cada cara de la pista y la energía almacenada en el sistema.



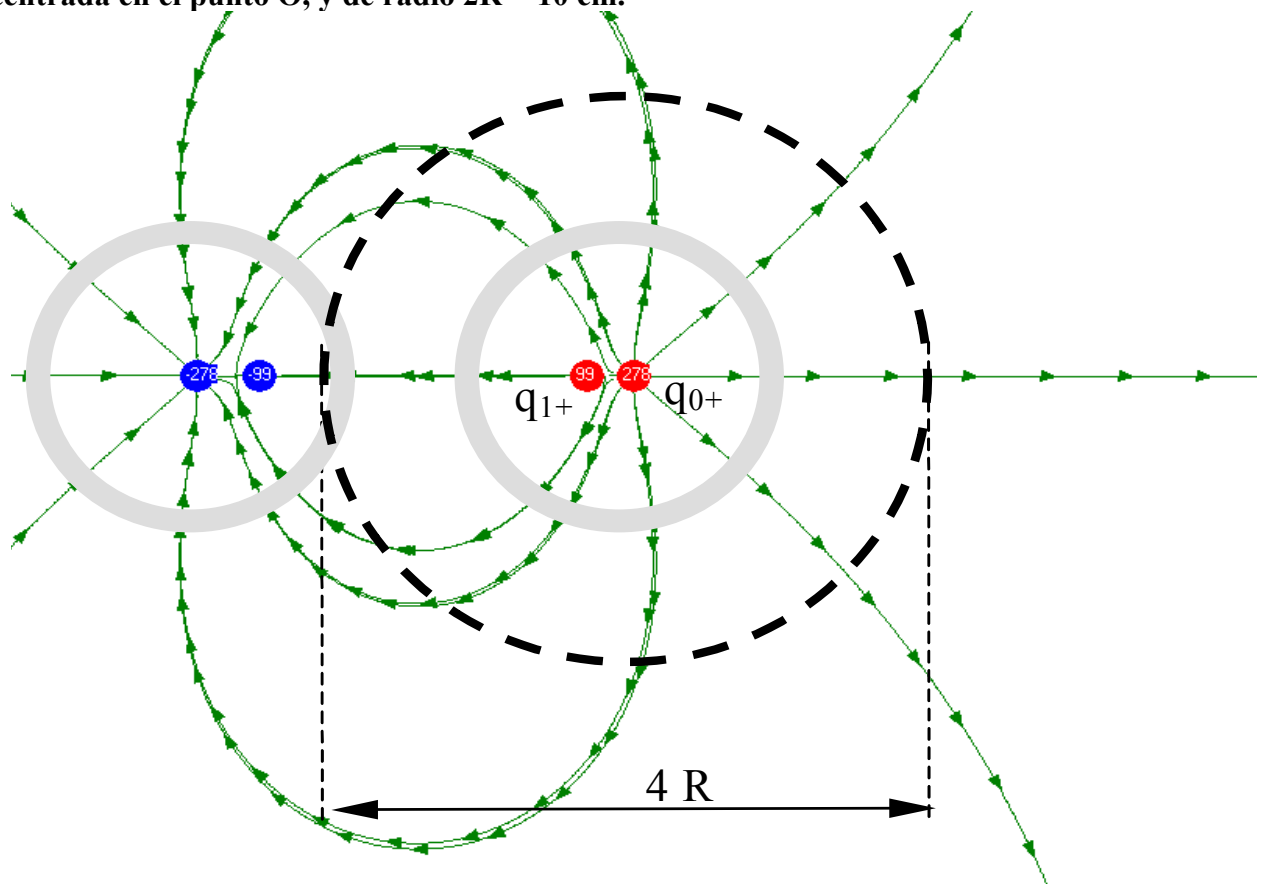
c) Calcular la máxima diferencia de potencial entre el plano de alimentación y el plano de masa, V_{CCmax} cuando la pista intermedia está a un potencial $V_{CCmax}/2$ respecto a masa. La rigidez dieléctrica de la fibra de vidrio es E_{MAX1} y la del poliuretano es E_{MAX2} .

Datos: $h = 1$ mm; $d = 0,1$ mm; $\delta \ll d$; $\epsilon_1 = 6 \cdot \epsilon_0$; $\epsilon_2 = 2,5 \cdot \epsilon_0$; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m; $S = 30$ cm²; $E_{MAX1} = 2 \cdot 10^6$ V/m; $E_{MAX2} = 30 \cdot 10^6$ V/m; $V_{CC} = 10$ V.

1.- El explosor se puede simplificar sustituyendo la esfera a mayor potencial (V_a) por dos cargas puntuales positivas q_{0+} y q_{1+} situadas en el centro O de la esfera y a una distancia d del centro, respectivamente. La esfera conductora que se encuentra a menor potencial (V_b) se representa mediante dos cargas puntuales negativas q_{0-} y q_{1-} situadas en el centro O' de la esfera y a una distancia d del centro, respectivamente. El medio que separa los electrodos es aire, de permitividad ϵ_0 .

Datos: $q_{0+} = 278 \text{ nC}$, $q_{0-} = -278 \text{ nC}$, $q_{1+} = 99 \text{ nC}$, $q_{1-} = -99 \text{ nC}$,
 $d = 1,79 \text{ cm}$, $R = 5 \text{ cm}$, $D = 14 \text{ cm}$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N m}^2$

a) Calcular el flujo del vector intensidad de campo eléctrico, Φ_E , que atraviesa una superficie esférica centrada en el punto O, y de radio $2R = 10 \text{ cm}$.



a) En el primer apartado, tal como se puede ver en la figura, las líneas de campo eléctrico ni son perpendiculares a la superficie de la esfera (fíjate en las líneas la mitad superior e inferior) ni el módulo del campo eléctrico es constante en la esfera (la densidad de líneas es mayor en el centro). Por tanto, el **cálculo directo** de la integral de flujo es complejo (sólo lo podemos realizar de forma sencilla cuando tenemos mucha simetría, y este no es el caso).

$$\Phi_E = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} \cdot \cos \alpha \quad \begin{matrix} \text{=} \\ \text{=} \\ \text{=} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vec{E} \cdot \text{Sup}_{\text{esfera}} \\ \cos \alpha \neq \text{cte} \\ |\vec{E}| \neq \text{cte} \end{matrix}$$

Se ha considerado un error de concepto poner la simplificación anterior en el examen y los alumnos que han llegado al resultado numérico correcto, pero poniendo la expresión anterior, han obtenido una calificación de 0,4 puntos sobre 1 punto del apartado. Para poder resolver el problema rigurosamente, es necesario aplicar la ley de Gauss generalizada:

$$\Phi_E = \int_{\text{Esfera}} \vec{E} \cdot d\vec{S} \cdot \cos \alpha = \int_{\text{Esfera}} \frac{\epsilon_0 |\vec{E}|}{\epsilon_0} \cdot d\vec{S} \cdot \cos \alpha = \frac{1}{\epsilon_0} \int_{\text{Esfera}} \epsilon_0 |\vec{E}| \cdot d\vec{S} \cdot \cos \alpha = \frac{1}{\epsilon_0} \int_{\text{Esfera}} |\vec{D}| \cdot d\vec{S} \cdot \cos \alpha$$

$$\Rightarrow \Phi_E = \frac{1}{\epsilon_0} \Phi_D \stackrel{\text{Ley de Gauss}}{=} \frac{1}{\epsilon_0} Q_{\text{encerrada en la esfera}} = \frac{q_{0+} + q_{1+}}{\epsilon_0} = \frac{278 \text{ nC} + 99 \text{ nC}}{\epsilon_0} = 42598,9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}}$$

También se ha considerado correcto aplicar directamente la Ley de Gauss para el vacío:

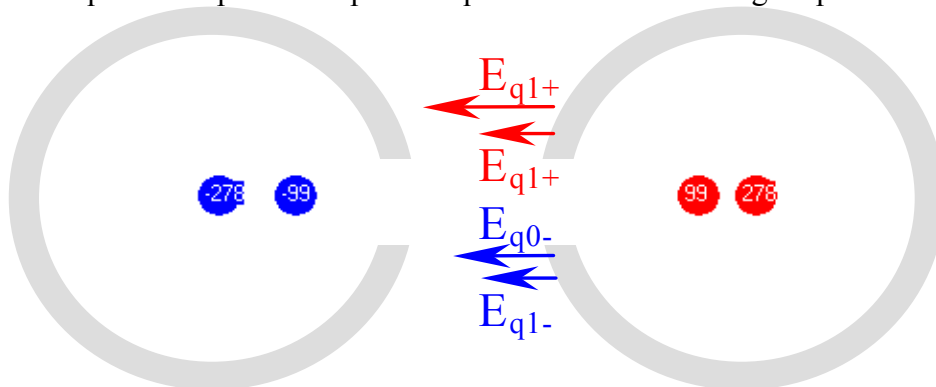
$$\Phi_E \stackrel{\text{Ley de Gauss para el vacío}}{=} \frac{Q_{\text{encerrada en la superficie cerrada}}}{\epsilon_0} = \frac{q_{0+} + q_{1+}}{\epsilon_0} = \frac{278 \text{ nC} + 99 \text{ nC}}{\epsilon_0} = 42598,9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}}$$

b) Calcular el vector intensidad de campo eléctrico \vec{E} en los puntos *a* y *b* de la línea que une los centros de las cargas, indicando claramente su dirección y sentido.

Este segundo apartado es muy sencillo. Sólo hay que aplicar correctamente la fórmula del campo eléctrico \vec{E} que crea una carga puntual. En realidad, como tenemos cuatro cargas tendremos que aplicar el principio de superposición.

$$\vec{E}_{\text{total}} = \vec{E}_{\text{carga } q_{0-}} + \vec{E}_{\text{carga } q_{1-}} + \vec{E}_{\text{carga } q_{1+}} + \vec{E}_{\text{carga } q_{0+}}$$

Ahora bien, para obtener el resultado correcto hay que tener mucho cuidado al realizar la **suma vectorial**. Si nos fijamos en la dirección del campo eléctrico que crea cada carga en el espacio entre los explosores, veremos que el campo creado por cualquiera de las cuatro cargas apunta a la izquierda.



Como todos los vectores tienen la misma dirección, el módulo de la suma es la suma del módulo de las componentes (esto parece un trabalenguas, pero si lo expresamos matemáticamente quedará más claro).

$$|\vec{E}_{\text{total}}| \stackrel{\text{Todos los vectores tienen la misma dirección (hacia la izda)}}{=} |\vec{E}_{\text{carga } q_{0-}}| + |\vec{E}_{\text{carga } q_{1-}}| + |\vec{E}_{\text{carga } q_{1+}}| + |\vec{E}_{\text{carga } q_{0+}}|$$

$$|\vec{E}_{\text{total}}| \stackrel{\text{Todos los vectores tienen la misma dirección (hacia la izda)}}{=} \sum_{\text{todas las cargas del sistema}} k \frac{|carga|}{\text{distancia del punto a la carga}^2}$$

Ahora ya solo queda calcular las distancias entre las cargas y el punto en donde estamos calculando el campo eléctrico \vec{E} . Por ejemplo, para el punto *a* obtenemos:

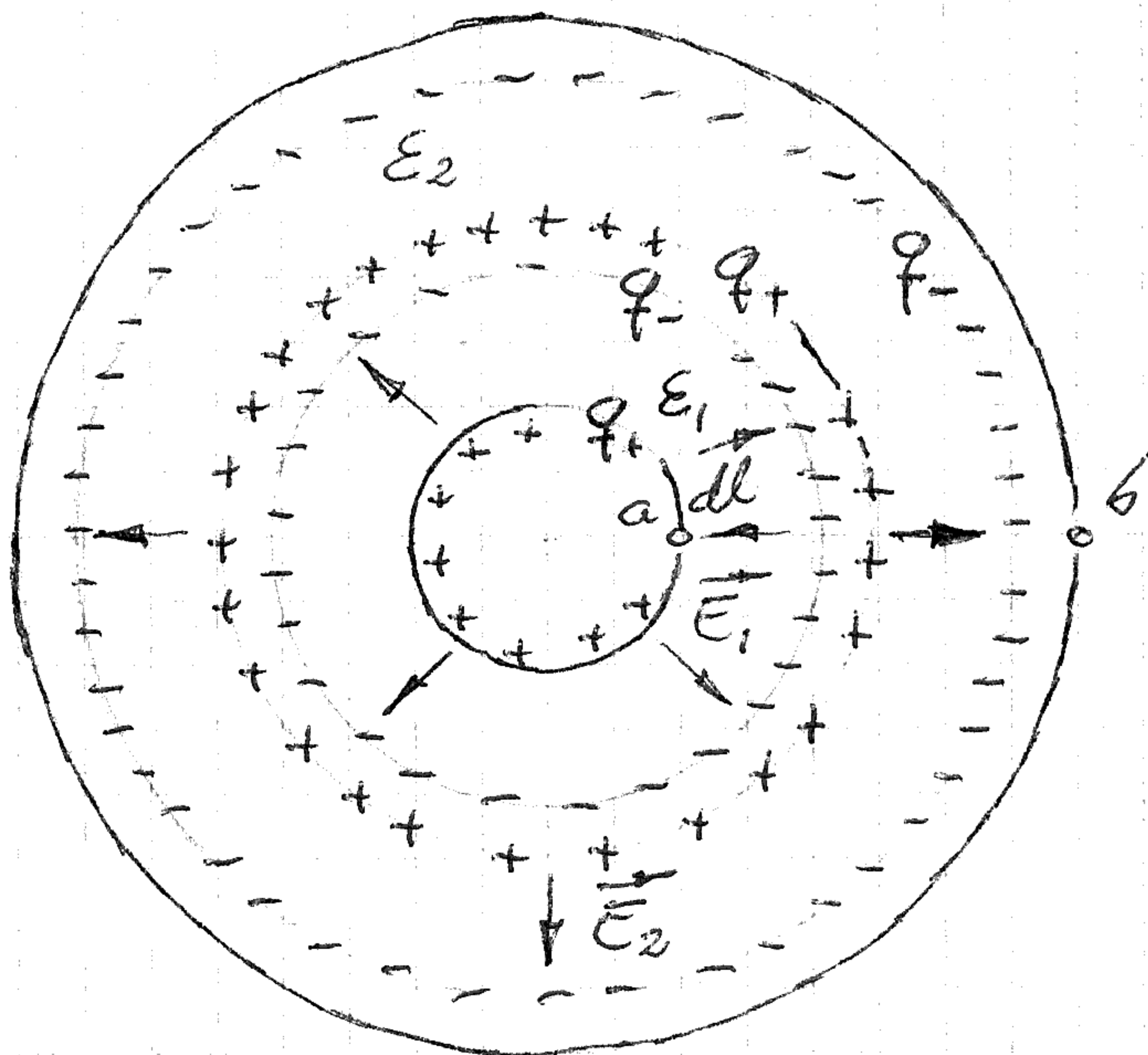
$$|\vec{E}_{\text{total}}| = k \left(\frac{|q_{0-}|}{(D-R)^2} + \frac{|q_{1-}|}{(D-d-R)^2} + \frac{|q_{1+}|}{(R-d)^2} + \frac{|q_{0+}|}{R^2} \right) = 2,345 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Si repetimos el cálculo para el punto *b* obtendremos el mismo resultado.

Dirección y sentido: horizontal hacia la izquierda.

PRIMER PARCIAL

2



$$\begin{aligned}
 a) \quad V_a - V_b &= \frac{W_b \rightarrow a}{q} = - \int_c^a \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_{R_5}^{R_4} \vec{E} \cdot d\vec{l} - \int_{R_4}^{R_3} \vec{E}_2 \cdot d\vec{l} - \\
 &\quad - \int_{R_3}^{R_2} \vec{E} \cdot d\vec{l} - \int_{R_2}^{R_1} \vec{E}_1 \cdot d\vec{l} = \\
 &\quad \underbrace{- \int_{R_3}^{R_2} \vec{E} \cdot d\vec{l}}_{\text{interior de un conductor}} = - \int_{R_4}^{R_3} |\vec{E}_2| \cdot |d\vec{l}| \cdot \underbrace{\cos \pi}_{-1} - \int_{R_2}^{R_1} |\vec{E}_1| \cdot |d\vec{l}| \cdot \underbrace{\cos \pi}_{-1} = \\
 &= - \int_{R_4}^{R_3} |\vec{E}_2| \cdot dr - \int_{R_2}^{R_1} |\vec{E}_1| \cdot dr = *
 \end{aligned}$$

* LEY DE GAUSS.

- SUPERFICIE CILÍNDRICA $S_1 \oint_{S_1} \vec{D}_1 \cdot d\vec{s} = q_{\text{encerrada por } S_1}$

$$\begin{aligned}
 \int_{S_1} D_1(r=r) \cdot ds_1 \cdot \cos 0 &= q_+ \\
 D_1(r=r) \int_{S_1} ds_1 &= q_+ \Rightarrow D_1(r=r) \cdot \underbrace{2\pi r H}_{S_2} = q_+
 \end{aligned}$$

$$D_1(r=r) = \frac{Q_+}{2\pi H r} \Rightarrow E_1(r=r) = \frac{Q_+}{2\pi \epsilon_1 H r}$$

- SUPERFICIE CILÍNDRICA S_2

$$\oint_{S_2} \vec{D}_2 \cdot d\vec{S}_2 = Q_{\text{encerrada por } S_2} = Q_+ + Q_- + Q_+ = Q_+$$

O ya que la malla S_2 se encuentra AISLADA Y DESCARGADA

$$\int_{S_2} D_2(r=r) dS_2 \cos 0 = D_2(r=r) \cdot \int_{S_2} dS_2 = D_2(r=r) \cdot S_2$$

$$D_2(r=r) \cdot 2\pi r \cdot H = Q_+ \Rightarrow D_2(r=r) = \frac{Q_+}{2\pi H r}$$

$$E_2(r=r) = \frac{Q_+}{2\pi \epsilon_2 H r}$$

$$V_a - V_b = \int_{R_4}^{R_3} \frac{Q_+}{2\pi \epsilon_2 H r} \frac{1}{r} dr - \int_{R_2}^{R_1} \frac{Q_+}{2\pi \epsilon_1 H r} \frac{1}{r} dr =$$

$$= \frac{Q_+}{2\pi \epsilon_2 H} \ln \frac{R_4}{R_3} + \frac{Q_+}{2\pi \epsilon_1 H} \ln \frac{R_2}{R_1} =$$

$$= \frac{Q_+}{2\pi H} \left\{ \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_4}{R_3} + \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1} \right\}$$

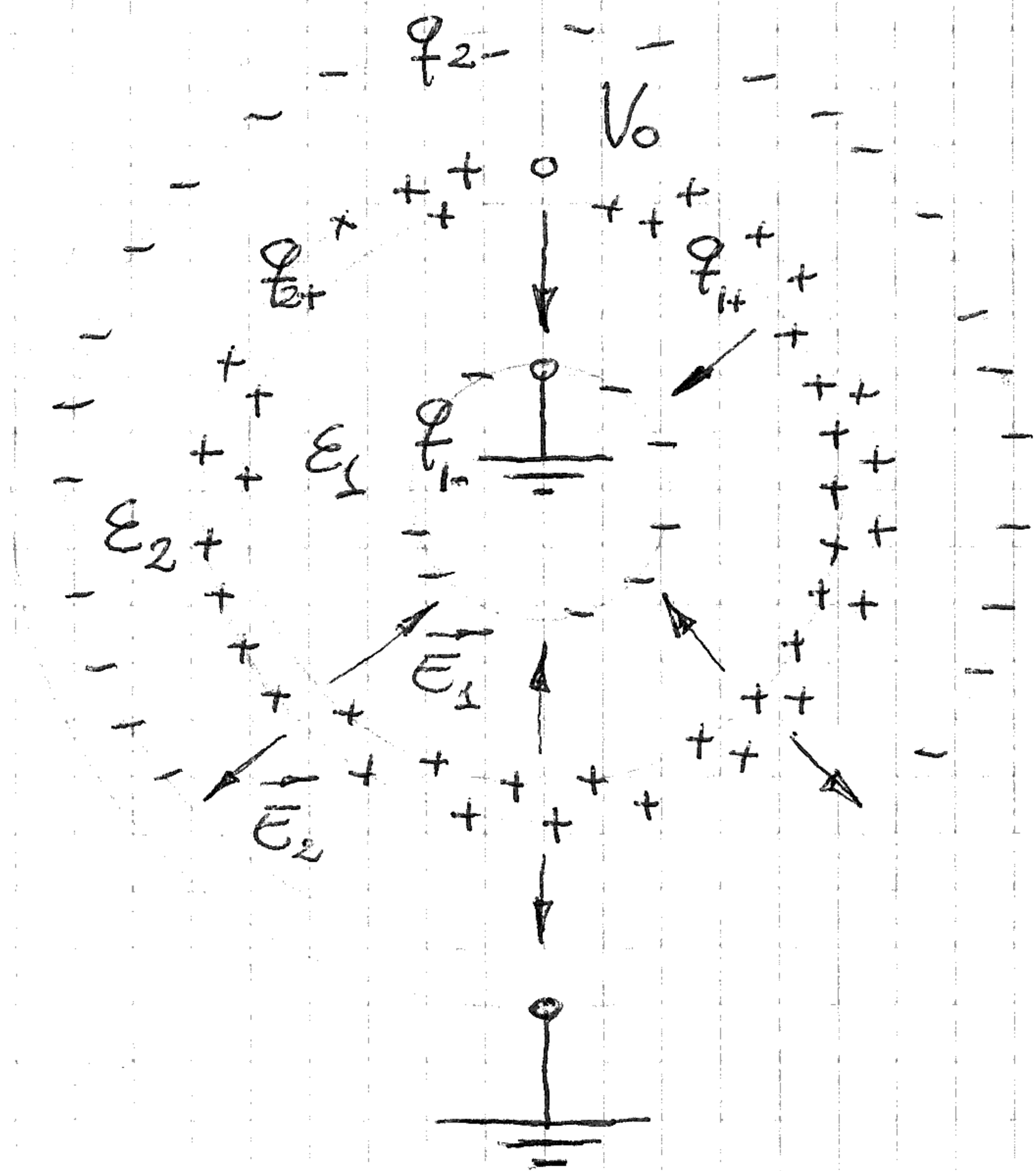
$$C_T = \frac{Q_+}{V_a - V_b} = 2\pi H \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_4}{R_3} + \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1}} =$$

$$= 2\pi \cdot 25 \frac{1}{\left(\frac{1}{70} \ln \frac{10}{6} + \frac{1}{20} \ln \frac{5}{2} \right) \cdot \frac{1}{8,85 \cdot 10^{-12}}} =$$

$$= 26,17 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 26,17 \text{ nF}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \left\{ \begin{array}{l} C_1 = 2\pi\epsilon_1 H \frac{1}{\ln \frac{R_2}{R_1}} = 30,34 \text{ nF} \\ C_2 = 2\pi\epsilon_2 H \frac{1}{\ln \frac{R_4}{R_3}} = 190,5 \text{ nF} \end{array} \right.$$

b)



$$\forall R_1 < r < R_2$$

$$V_0 = \frac{W_{\perp} \rightarrow 0}{q} = V_0 - V_{\perp} = - \int_{C_1}^0 \vec{E}_s \cdot d\vec{l}_1 = - \int_{R_1}^{R_2} \vec{E}_s \cdot d\vec{l}_1 =$$

$$= - \int_{R_1}^{R_2} |\vec{E}_s| \cdot |d\vec{l}| \cdot \cos \pi = \int_{R_1}^{R_2} |\vec{E}_s| \cdot d\ell = *$$

$$* \text{ LEY DE GAUSS } \oint_{S_1} \vec{D}_1 \cdot d\vec{s}_1 = q_{\text{encerrada por } S_1}$$

$$\int_{S_1} \sigma_1(\rho=r) \cdot \cos \pi \, ds_1 = - \sigma_1(\rho=r) \cdot \int_{S_1 \cup S_2} ds_i = Q_{1-}$$

$$- \sigma_1(\rho=r) \cdot 2\pi r H = Q_{1-} \Rightarrow \sigma_1(\rho=r) = \frac{-Q_{1-}}{2\pi r H} \Rightarrow$$

$$E_2(\rho=r) = \frac{Q_{1+}}{2\pi \epsilon_1 H r} ; \vec{E}_2 = \frac{Q_{1+}}{2\pi \epsilon_1 H r} (-\vec{u}_\rho)$$

$$V_0 = * = \int_{R_1}^{R_2} \frac{Q_{1+}}{2\pi \epsilon_1 H r} = \frac{Q_{1+}}{2\pi \epsilon_1 H} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

$$Q_{1+} = |Q_{1-}| = \frac{V_0}{\ln \frac{R_2}{R_1}} 2\pi \epsilon_1 H =$$

$$= \frac{30 \cdot 2\pi \cdot 20 \cdot \epsilon_0 \cdot 25}{\ln \frac{5}{2}} = 920,3 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$\vec{E}_2 = \frac{V_0}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \cdot \frac{1}{r} (-\vec{u}_\rho) = 32,74 \frac{1}{r} (-\vec{u}_\rho) \cdot \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$\forall R_3 < r < R_4 ; V_0 = V_0 - V_{\perp} = \frac{W_{\perp} \rightarrow 0}{Q} = - \int_{C_2}^0 \vec{E}_2 \cdot d\vec{l}_2 =$$

$$= - \int_{R_4}^{R_3} |\vec{E}_2| \cdot \underbrace{|d\vec{l}_2|}_{-dr} \cdot \cos \pi = - \int_{R_4}^{R_3} |\vec{E}_2| \cdot dr = **$$

$$** \text{ LEY DE GAUSS } \oint_{S_2} \vec{D}_2 \cdot d\vec{S}_2 = Q_{\text{encerrada por } S_2}$$

$$\int_{S_1} \sigma_2(\rho=r) \cdot ds_2 \cos 0 = \underbrace{Q_{1+} + Q_{1-} + Q_{2+}}_{0} = Q_{2+}$$

0 ya que \vec{E} en el interior de la malla \perp debe ser igual a 0

$$\sigma_2(\rho=r) \cdot \int_{S_1 \cup S_2} ds_i = \sigma_2(\rho=r) \cdot 2\pi r H = Q_{2+}$$

$$D_2 (r=r) = \frac{Q_{2+}}{2\pi H r} \Rightarrow E_2 (r=r) = \frac{Q_{2+}}{2\pi \epsilon_2 H r}$$

$$\vec{E}_2 = \left(\frac{Q_{2+}}{2\pi \epsilon_2 H} \right) \frac{1}{r} (\vec{u}_r)$$

$$V_0 = ** = - \int_{R_4}^{R_3} \frac{Q_{2+}}{2\pi \epsilon_2 H} \frac{1}{r} = \left(\frac{Q_{2+}}{2\pi \epsilon_2 H} \right) \ln \frac{R_4}{R_3}$$

$$Q_{2+} = |Q_{2-}| = \frac{V_0}{\ln \frac{R_4}{R_3}} 2\pi \epsilon_2 H = 5,71 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

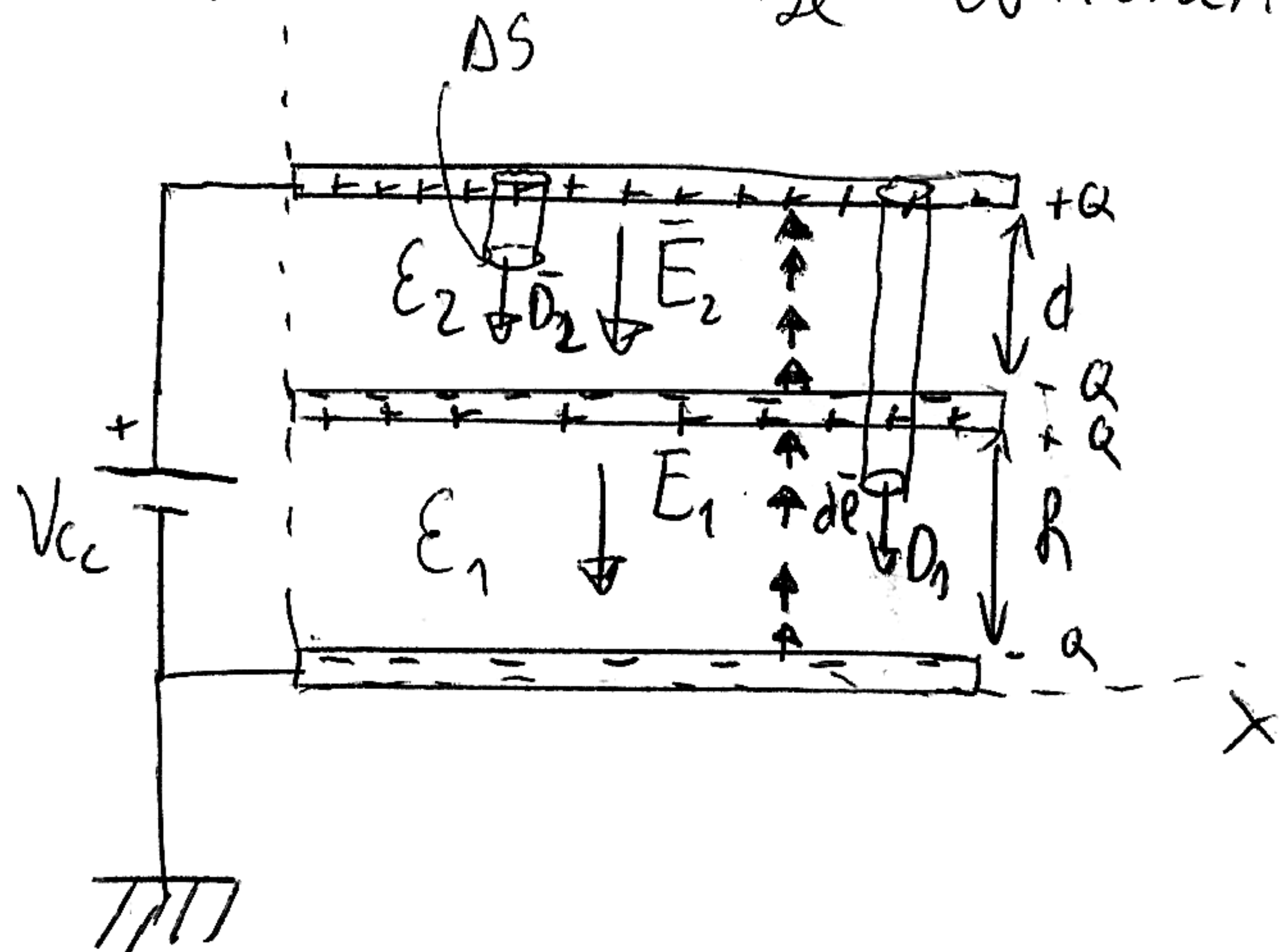
$$\vec{E}_2 = \frac{V_0}{\ln \frac{R_4}{R_3}} \frac{1}{r} (\vec{u}_r) = 58,73 \frac{1}{r} (\vec{u}_r) \frac{\text{V}}{\text{C}}$$

Primer parcial

Cono Julio (28-Jun-04)

Ej 3:

a) Aplicando Gauss a superficies como las dibujadas se obtienen los campos.



Por simetría vemos que los campos van en dirección $(-\hat{u}_y)$ y que la carga se distribuirá uniformemente en las placas.

Por tanto:

$$\oint \vec{D}_2 \cdot d\vec{s} = \iint_{\text{Tapas}} D_2 ds = D_2 \Delta S$$

$$\vec{D}_2 \parallel d\vec{s} \text{ (tapas inf)}$$

$$D_2 = 0 \text{ (interior conductor)}$$

$$\vec{D}_2 \perp d\vec{s} \text{ (pared lateral)}$$

La carga encerrada en la superficie de Gauss vale:

$$Q_{\text{enc}} = \iint_{\Delta S} \sigma ds = \sigma \Delta S$$

$\sigma = \epsilon_0 \epsilon_2 E_2$

y aplicando Gauss. $D_2 \Delta S = \sigma \Delta S \Rightarrow \vec{D}_2 = \sigma (-\hat{u}_y)$

$$\Rightarrow \vec{E}_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_2} (-\hat{u}_y)$$

Análogamente para el dielectrico 1: $\vec{D}_1 = \sigma (-\hat{u}_y)$; $\vec{E}_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_1} (-\hat{u}_y)$

σ no es dato por lo que debemos despejarlo en función de V_{cc} .

Para ello tomamos una trayectoria de la placa inferior a la superior, en la dirección del campo. Así:

$$V_{cc} = V(y=h+d) - V(y=0) = - \int_0^h \vec{E}_1 \cdot d\vec{l} - \int_h^{h+d} \vec{E}_2 \cdot d\vec{l} = \int_0^h E_1 dl + \int_h^{h+d} E_2 dl =$$

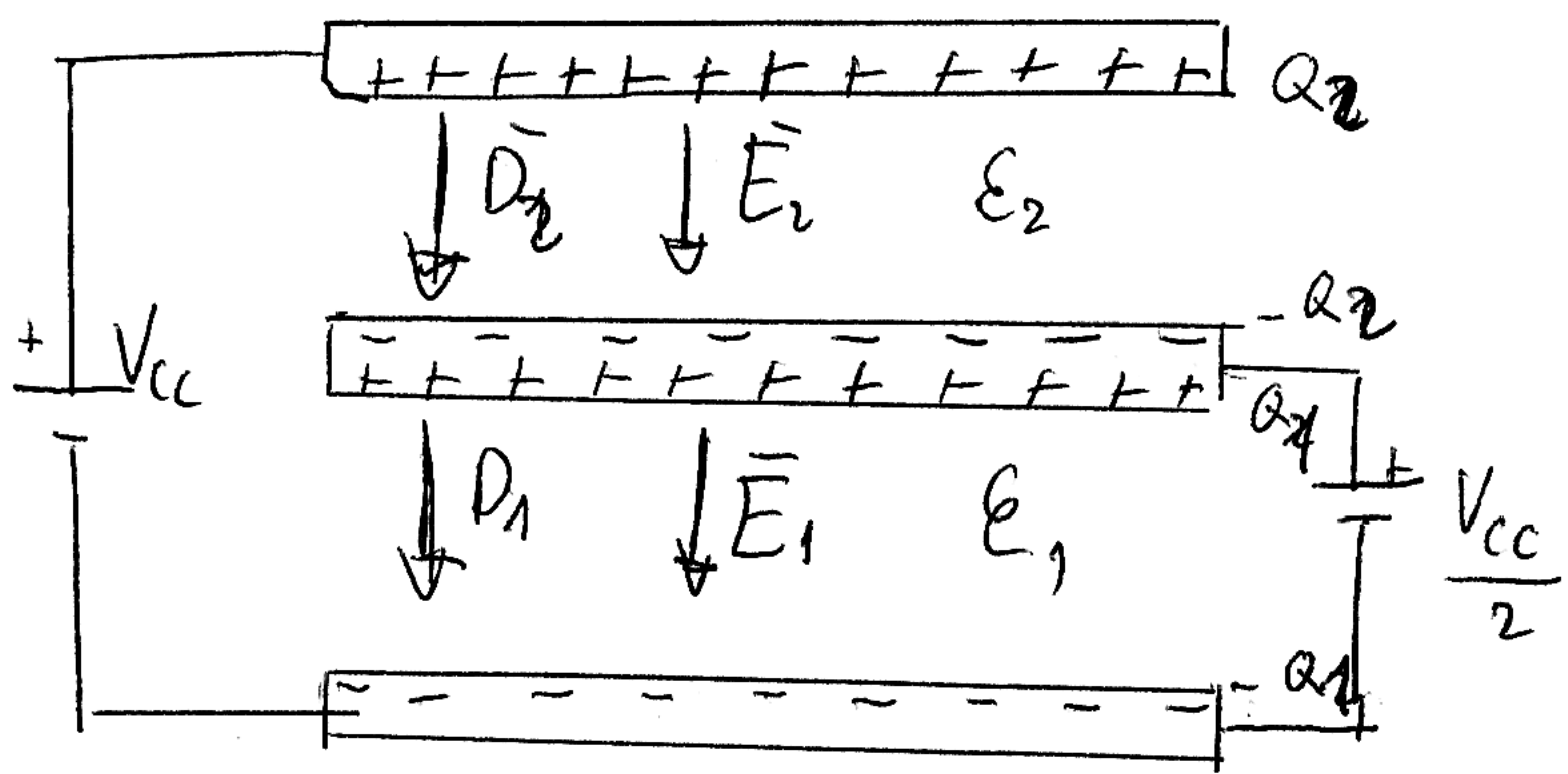
$$= \int_0^h E_1 dy + \int_h^{h+d} E_2 dy = \frac{\sigma}{\epsilon_1} h + \frac{\sigma}{\epsilon_2} d = V_{cc} \Rightarrow$$

$dl = dy$ porque y crece

(continúa al final)

$$\sigma = \frac{V_{cc}}{\frac{h}{\epsilon_1} + \frac{d}{\epsilon_2}} = 4,28 \cdot 10^7 \frac{C}{m^2}$$

b)



Ahora los cargos se distribuirán como se indica en el dibujo.

Aplicando lo hecho en el apt anterior tengo

$$\vec{E}_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon_1} (-\hat{u}_y) ; \vec{E}_2 = \frac{\sigma_2}{\epsilon_2} (-\hat{u}_y)$$

Por supuesto σ_1 y σ_2 son desconocidas de momento las calcularé usando los potenciales así:

$$V(y=h) - V(y=0) = \frac{V_{cc}}{2} = - \int_0^h \vec{E}_1 \cdot d\vec{l} = \dots = E_1 h = \frac{\sigma_1}{\epsilon_1} h$$

$$\Rightarrow \sigma_1 = \frac{\epsilon_1}{h} \cdot \frac{V_{cc}}{2} = 2,66 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}^2$$

que es la densidad de carga en la parte inferior de la placa central. Análogamente

$$V(y=h+d) - V(y=h) = - \int_h^{h+d} \vec{E}_2 \cdot d\vec{l} = \dots = E_2 d = \frac{\sigma_2}{\epsilon_2} d = \frac{V_{cc}}{2}$$

$$\Rightarrow \sigma_2 = \frac{\epsilon_2}{d} \frac{V_{cc}}{2} = 1,1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$

La densidad de carga en la parte superior de la placa central será la anterior cambiada de signo $\sigma_{cs} = -\sigma_2 = -1,1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$

Para calcular la energía almacenada en el sistema usará la expresión: $W_i = \frac{1}{2} Q_i V_i$ para cada región y luego sumará las energías. así $V_1 = V_2 = V_{cc}/2$; $Q_1 = \sigma_1 S = 0,798 \text{ nC}$;

$$Q_2 = \sigma_2 \cdot S = 3,3 \text{ nC} \Rightarrow W_1 = \frac{1}{2} Q_1 V_1 = 2 \text{ nJ}; W_2 = \frac{1}{2} Q_2 V_2 = 8,25 \text{ nJ}$$

$$\Rightarrow W_T = W_1 + W_2 = \boxed{10,25 \text{ nJ} = W_T}$$

Primer parcial

con Julio

Ej 3 - C.

usando los campos máx, obtenga los máximos diferencias de potencial admisibles en cada región sin ruptura dieléctrica.

$$\text{así: } V_{1_{\text{MAX}}} = E_{1_{\text{MAX}}} \cdot h = 2000 \text{ V}; \quad V_{2_{\text{MAX}}} = E_{2_{\text{MAX}}} \cdot d = 3000 \text{ V}$$

Como impone el enunciado que ambos d.d.p son en todo momento iguales a la mitad de V_{cc} deducimos que la máx d.d.p. total sin ruptura será:

$$V_{cc_{\text{MAX}}} = 2 \cdot \text{Mínimo}(V_{1_{\text{MAX}}}, V_{2_{\text{MAX}}}) = \boxed{4000 \text{ V} = V_{cc_{\text{MAX}}}}$$

a) continuación.

La d.d.p pedida entre la placa central y tierra vale.

$$V(y=h) - V(y=0) = E_1 \cdot h = \frac{\sigma}{\epsilon_1} \cdot h = 8,06 \text{ V}$$