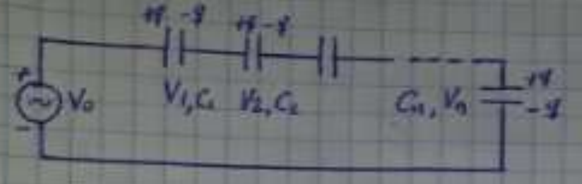
Clase 10.1

CONDENSADORES EN SERIE



En serie la corriente que circula o la carga es la misma, por tanto cada capacitor adquiere igual carga, y el potencial de la fuente se distribuye en cada capacitor

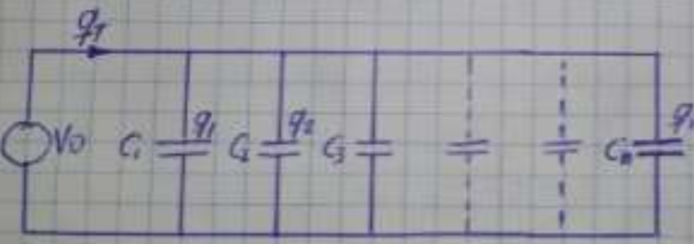
$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad ; \quad V = \frac{q}{C}$$

$$\frac{q_T}{C_T} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} + \dots + \frac{q_n}{C_n} \quad ; \quad q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n = q_T = q$$

$$\frac{\cancel{q}}{C_T} = \frac{\cancel{q}}{C_1} + \frac{\cancel{q}}{C_2} + \dots + \frac{\cancel{q}}{C_n}$$

$$\boxed{\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \frac{1}{C_n}}$$

CONDENSADORES EN PARALELO



En paralelo el voltaje o potencial de la fuente es igual al potencial en cada condensador; pero la carga de la fuente se distribuye en cada condensador

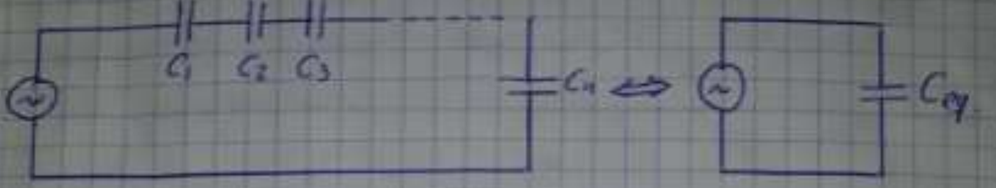
$$q_T = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \quad ; \quad q = VC$$

$$V_0 C_T = V_1 C_1 + V_2 C_2 + \dots + V_n C_n \quad ; \quad V_1 = V_2 = \dots = V_n = V_0 = V$$

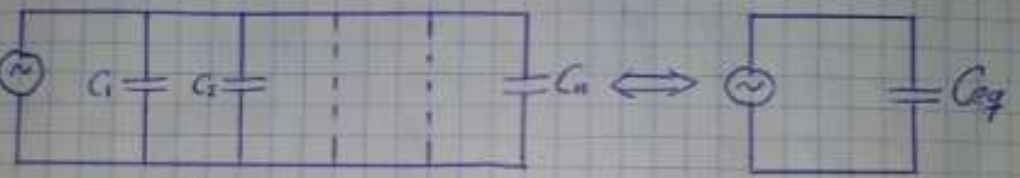
$$\cancel{V} C_T = \cancel{V} C_1 + \cancel{V_2} C_2 + \dots + \cancel{V} C_n$$

$$\boxed{C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n}$$

Tanto en el circuito serie como en paralelo la capacidad C_T se considera como capacidad equivalente



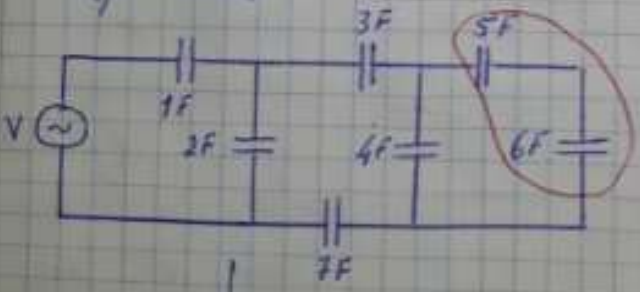
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$



$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$$

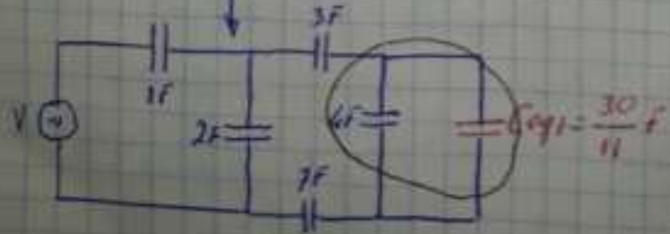
Ejemplos

1.- En el circuito de la figura calcular la capacidad equivalente



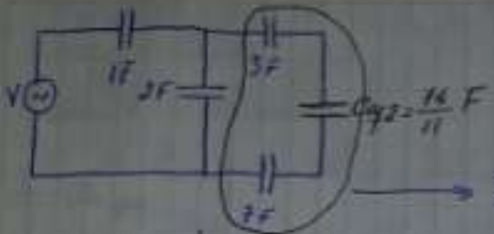
En serie $\frac{1}{C_{eq1}} = \frac{1}{5} + \frac{1}{6}$

$$C_{eq1} = \frac{5 \times 6}{5+6} = \frac{30}{11}\ F$$



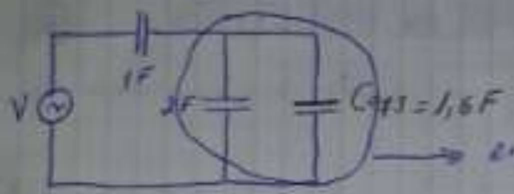
En paralelo

$$C_{eq2} = 4 + \frac{30}{11} = \frac{44+30}{11} = \frac{74}{11}\ F$$

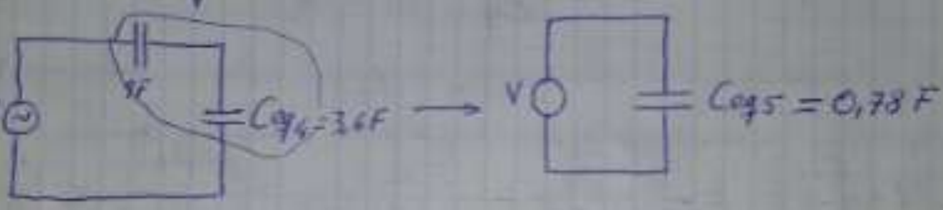


En serie $\frac{1}{C_{eq3}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{7} + \frac{11}{16} = 0,6268$

$C_{eq3} = 1,6\,F$



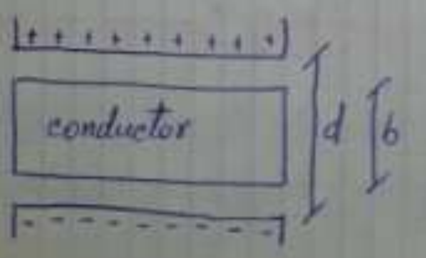
en paralelo $C_{eq4} = 2 + 1,6 = 3,6F$



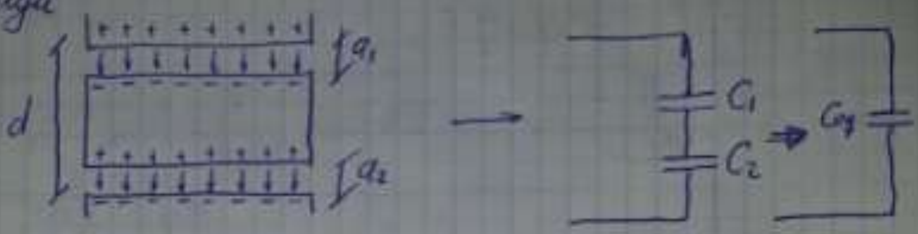
En serie

$$\frac{1}{C_{eq5}} = \frac{1}{1} + \frac{1}{3,6} = \frac{3,6+1}{3,6} = \frac{4,6}{3,6} \rightarrow C_{eq5} = \frac{3,6}{4,6} = 0,78\,F$$

2. En un conductor de placas paralelas cuya distancia entre las mismas es d, se introduce un bloque conductor de ancho $b<d$ como se muestra en la figura. Si el área de las placas es A, demuestre que la nueva capacidad es de $C = \frac{\varepsilon_0 A}{(d-b)}$



Al introducir el bloque conductor se produce una inducción de carga



Se convierte en dos condensadores en serie C_1 y C_2

Sin el bloque la capacidad es $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$

Con el bloque conductor $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$; $C_1 = \frac{\varepsilon_0 A}{a_1}$; $C_2 = \frac{\varepsilon_0 A}{a_2}$

$$a_1 + a_2 = d - b$$

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{\varepsilon_0 A}{a_1}\frac{\varepsilon_0 A}{a_2}}{\frac{\varepsilon_0 A}{a_1} + \frac{\varepsilon_0 A}{a_2}} = \frac{\frac{\varepsilon_0^2 A^2}{a_1 a_2}}{\frac{a_2 \varepsilon_0 A + a_1 \varepsilon_0 A}{a_1 a_2}} = \frac{(\varepsilon_0 A)^{\cancel{2}}}{\cancel{\varepsilon_0 A}(a_1 + a_2)} = \frac{\varepsilon_0 A}{(d-b)}$$

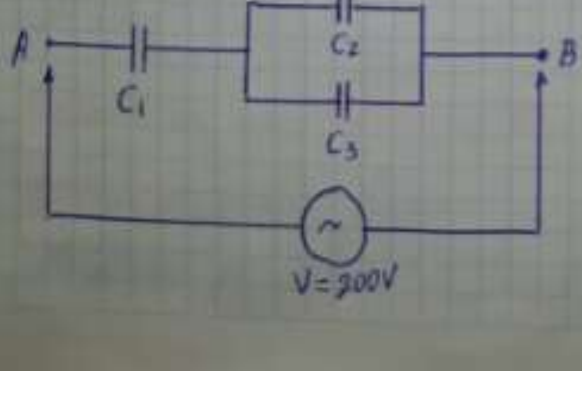
lqqd.

Ejercicio Propuesto

1.- Se tiene un sistema formado por tres capacitores, como en la fig. Entre los terminales A y B de dicho sistema se ha aplicado una diferencia de potencial de 200V. Determine

a) la capacitancia equivalente del sistema

b) la carga y diferencia de potencial en cada capacitor



$C_1 = 6\,\mu F$
$C_2 = 2\,\mu F$
$C_3 = 4\,\mu F$

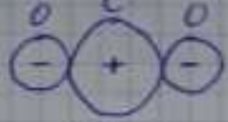
Clase 2

DIELECTRICOS Y CONDENSADORES

Son aislantes que prácticamente no permiten el paso de corriente (cargas). Un material para que sea dieléctrico depende de su naturaleza; por esto los dieléctricos se clasifican en polares y apolares (no polares)

Dieléctricos no polares.

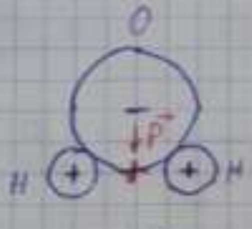
Son aquellos cuyos centros de cargas positivas y negativas coinciden espacialmente



CO_2

Ejemplos. - Las moléculas monoatómicas (formadas por dos átomos iguales unidos por enlace covalente son apolares y otras como el CO_2.

Dieléctricos polares. - En estos los centros no coinciden espacialmente y la molécula se considera como un dipolo eléctrico



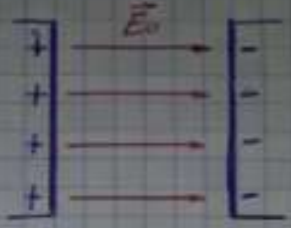
H_2O

Ejemplos. Moléculas de compuestos iónicos como el HF, el agua, H_2O.

EFECTO DE LOS DIELECTRICOS EN LOS CONDENSADORES

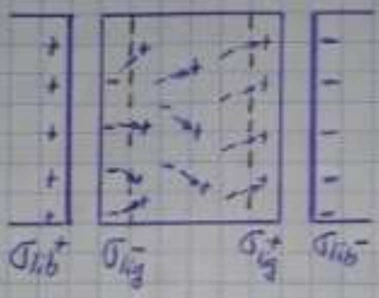
Independientemente tenemos un dieléctrico y un condensador de placas paralelas (por ejemplo)

Dieléctrico polar



Condensador

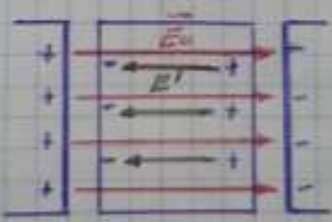
Al introducir el dieléctrico en el condensador los dipolos del dieléctrico se reorientan de la siguiente forma



σ_{lib} densidad superficial de carga libre

σ_{lig} densidad superficial de carga ligada

La carga interna del dieléctrico se compensa pero en los bordes no, y a esta se llama carga de polarización o carga ligada.



Si $E_0 = \frac{\sigma_{lib}}{\varepsilon_0}$ campo eléctrico en el condensador sin dieléctrico

$E' = \frac{\sigma_{lig}}{\varepsilon_0}$ campo eléctrico inherente a la carga ligada del dieléctrico

$\therefore$ $E = E_0 - E'$ es el nuevo campo eléctrico

Como $q/A_2 < q/A_0 \rightarrow \sigma/A_2 < \sigma/A_0 \rightarrow E < E_0$

Es decir, al introducir el dieléctrico se disminuye el campo eléctrico entre las placas del condensador; y como $\Delta V = Ed$, también disminuye la diferencia de potencial.

Finalmente $C = \dfrac{q}{\Delta V}$, entonces la capacitancia del condensador aumenta.

Además experimentalmente se ha comprobado que $\vec{P} = \chi_e \varepsilon_0 \vec{E}$ llamado vector polarización, con:

E valor de la intensidad de campo eléctrico dentro del dieléctrico

χ_e grado de polarización del material o susceptibilidad eléctrica del dieléctrico (Es adimensional)

En dieléctricos isótropos $\vec{P}$ y $\vec{E}$ son colineales y χ_e un escalar positivo; en dieléctricos anisótropos $\vec{P}$ y $\vec{E}$ no coinciden y χ_e es un tensor.

Nosotros solo consideramos dieléctricos isótropos.

Definimos el vector desplazamiento eléctrico $\vec{D}$, o inducción eléctrica como:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \chi_e \varepsilon_0 \vec{E} = \varepsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E}$$

y $\varepsilon_0(1+\chi_e)$ es la PERMITIVIDAD ABSOLUTA del dieléctrico, y se acostumbra a definir la permitividad relativa o constante dieléctrica del material como:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = (1 + \chi_e)$$

$$\therefore \vec{D} = \varepsilon \vec{E}$$

Habíamos dicho que al introducir el dieléctrico E disminuye respecto a su valor en el vacío debido a la polarización, por lo que C aumenta. Veamos en qué factor aumenta

En el vacío $C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$

Con dieléctrico $C = \frac{\varepsilon A}{d}$

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \varepsilon_r$$ permitividad relativa del dieléctrico.

$$\boxed{C = \varepsilon_r C_0} \longrightarrow C = (1 + \chi_e) C_0$$

Tabla de valores de permitividad relativa, ε, de algunas sustancias dieléctricas.

SUSTANCIA	PERMITIVIDAD RELATIVA, ε_r
Aire	1,00059
Amoníaco NH_3 (gas)	1.00072
Cloruro de hidrógeno HCl (gas)	1,00300
Cloroformo, $CHCl_3$ (líquido)	5,1
Agua H_2O (gas)	1,0126
Agua H_2O (líquido)	80
Aceite de transformador	2,24
Amoníaco líquido NH_3	22
Azufre S (sólido)	4,0
Cuarzo SiO_2 (sólido)	4,27 – 4,34
Porcelana	6,0 – 8,0
Vidrio Pyrex	4,00
Bakelita	4,8
Mica rubí	5,4
Teflón	2,1

Consideraciones energéticas en capacitores con dieléctricos

La energía almacenada:

Al vacío $U_0 = \frac{1}{2} C_0 V^2$
Con dieléctrico $U = \frac{1}{2} C V^2$
} para una misma diferencia de potencial

$$\boxed{U = \frac{1}{2} \varepsilon_r C_0 V^2}$$

Ejemplos.-

1.- Un condensador al vacío tiene una capacitancia de 6×10^{-6} F

a) Calcular la energía almacenada por el condensador al aplicarse una diferencia de potencial de 100 V

b) Calcular la carga almacenada en términos de la carga de protones.

c) Si se introduce en un medio cuya permitividad relativa es 40, manteniendo la diferencia de potencial de 100 V recalcule y encuentre los nuevos valores de capacidad, energía y carga almacenadas.

a) $U = \frac{1}{2} C_0 V^2 = \frac{1}{2}(6 \times 10^{-6})(100)^2 = 0{,}03$ J.

b) $q = C \Delta V = 6 \times 10^{-6} \times 100 = 6 \times 10^{-4}$ C

Carga del protón: $1{,}602 \times 10^{-19}$ C

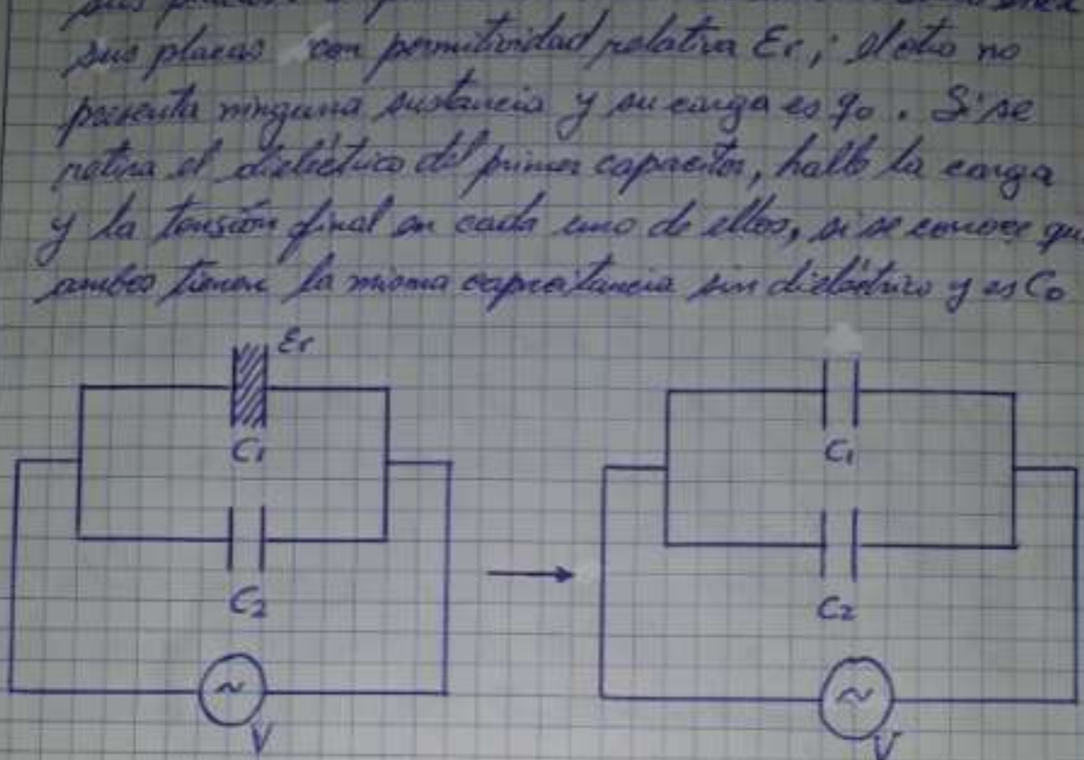
$$\Rightarrow 6 \times 10^{-4} \cancel{C} \left| \frac{1 \text{ protón}}{1{,}602 \times 10^{-19} \cancel{C}} \right. = 3{,}745 \times 10^{15} \text{ protones.}$$

c). $C = \varepsilon_r C_0 = 40 \times 6 \times 10^{-6} = 0{,}24 \times 10^{-3}$ F $\equiv 0{,}24$ mF

$U = \frac{1}{2} \varepsilon_r C_0 V^2 = \frac{1}{2} \times 40 \times (6 \times 10^{-6})(100)^2 = 1{,}2$ J

$q = C \Delta V = 0{,}24 \times 10^{-3} \times 100 = 0{,}024$ C //

2.- Dos condensadores planos cargados que están conectados entre sí, tienen la misma diferencia de potencial entre sus placas. El primero de ellos tiene un dieléctrico entre sus placas con permitividad relativa ε_r; el otro no presenta ninguna sustancia y su carga es q_0. Si se retira el dieléctrico del primer capacitor, halla la carga y la tensión final en cada uno de ellos, si se conoce que ambos tienen la misma capacitancia sin dieléctrico y es C_0



Condiciones iniciales

$V_1 = V_2$

$\frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2} \rightarrow q_1 = q_2 \frac{C_1}{C_2}$

también $C_2 = C_0$

$C_1 = \varepsilon_r C_0$

$q_2 = q_0$

$q_1 = \varepsilon_r q_0$

Condiciones finales

Aplicando la ley de conservación de la carga

$q_{i1} + q_{i2} = q_{f1} + q_{f2} = C_1 V_{f1} + C_2 V_{f2}$

también $V_{f1} = V_{f2} = V_f$ (conectados en paralelo)

y

$C_{f1} = C_{f2} = C_0$

$q_{f1} + q_{f2} = 2C_0 V_f$

$\frac{\varepsilon_r q_0 + q_0}{2C_0} = V_f = \frac{q_{f2}}{C_0}$

$q_{f2} = \frac{1+\varepsilon_r}{2} q_0 = q_{f1}$

EJERCICIOS PROPUESTOS

1.- Se tienen dos capacitores planos conectados entre sí, y se conoce que el potencial de cada uno es 200V. Si se introduce un dieléctrico de permitividad relativa $\varepsilon_r = 3$ entre las placas del capacitor C_1, halle la carga y el potencial de cada capacitor si sus capacitancias antes de introducir el dieléctrico son $C_1 = 0{,}05\ \mu F$ y $C_2 = 0{,}1\ \mu F$.

2.- Dentro de un capacitor plano cuyas placas tienen un área de $300\,cm^2$ y están separadas una distancia $d = 1\,cm$ se introduce un dieléctrico que ocupa todo su volumen interior, de manera que su capacitancia ahora toma el valor de $C = 0{,}053\ pF$. Determine la permitividad relativa del dieléctrico.

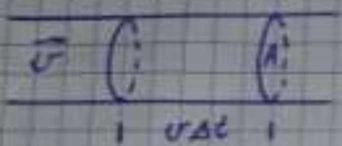
Clase 3

III

CORRIENTE ELECTRICA Y LEY DE OHM

La corriente eléctrica, I es la rapidez de movimiento de cargas $I=\frac{\Delta q}{\Delta t}=\frac{dq}{dt}$

Densidad de corriente. Es la cantidad de carga que pasa por un elemento de superficie por unidad de tiempo y por unidad de área; es un vector $\vec{J}$



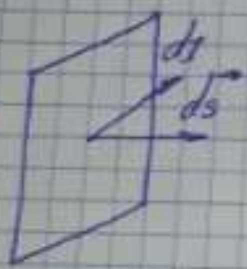
como $\Delta q=\rho V$; V volumen

$$\Delta q=\rho A v\Delta t$$

y $J=\frac{I}{A}=\frac{\Delta q}{\Delta t A}=\frac{\rho A v\Delta t}{\Delta t A}$

$$\boxed{J=\rho v} \quad o \quad \boxed{\vec{J}=\rho\vec{v}} \quad *$$

Luego la carga que atraviesa una superficie transversal por unidad de tiempo se lo llama corriente eléctrica



$$dI=\vec{J}\cdot d\vec{s}$$

$$I=\oint_S \vec{J}\cdot d\vec{s}$$

como la carga dentro de la superficie cerrada disminuye y esta disminución es igual a la carga que sale, tenemos que la corriente que sale es igual a la carga que disminuye o:

$$\oint \vec{J}\cdot d\vec{s}=-\frac{dQ}{dt}$$

Volviendo a la ecuación *, donde $v=v_m$ es la velocidad media del recorrido

Por la teoría clásica de Newton: $F = qE = ma$

$a = \frac{qE}{m}$ es la aceleración entre choque y choque

Considerando que al chocar el portador de carga entrega toda su energía, entonces la velocidad inicial es cero al iniciar cada recorrido después de un choque, y por tanto

$v = 0 + at$, con t el tiempo entre choques sucesivos.

Si introducimos a τ como el tiempo medio entre choques, y a λ como el recorrido libre medio entre choques.

$\bar{v} = \frac{\lambda}{\tau}$ llamada velocidad media de deriva

aquí despreciamos el movimiento térmico

Entonces $v = at = a\frac{\lambda}{\bar{v}}$ y como $v_0 = 0$

$$v_m = \frac{1}{2} a \frac{\lambda}{\bar{v}}$$

$$v_m = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \frac{\lambda}{\bar{v}}$$

Sustituyendo en * $J = \rho \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \frac{\lambda}{\bar{v}}$

$$J = \left(\frac{\rho q \lambda}{2m\bar{v}}\right) E$$

Al término entre paréntesis se llama <u>conductividad eléctrica</u> del conductor $\boxed{\sigma = \frac{\rho q \lambda}{2m\bar{v}}}$

Con lo que $\boxed{J = \sigma E}$ o $\boxed{\vec{J} = \sigma \vec{E}}$ llamado Ley de Ohm

$$\sigma = [\Omega\, m]^{-1} \equiv [ohmio \cdot m]^{-1}$$

Si el cuerpo es homogéneo e isótropo σ es escalar, caso contrario es una matriz.

Al inverso de σ se llama resistividad eléctrica, δ

$$\boxed{\delta = \frac{1}{\sigma} = \frac{2m\bar{v}}{\rho q \lambda}}$$

Como

$dV = -E\,dx$ (en dirección x) y $J = \frac{I}{A}$; V potencial

$$E = -\frac{dV}{dx}$$

$$\Rightarrow J = \frac{I}{A} = -\sigma \frac{dV}{dx}$$

$$\int_0^{\ell} \frac{I}{A}\,dx = -\int_{V_A}^{V_B} \sigma\,dV$$

$$\frac{I}{A}\ell = \sigma(V_A - V_B) = \sigma \Delta V$$

$$\Delta V = \frac{I\ell}{A\sigma} = \left(\frac{\delta \ell}{A}\right) I$$

a $\frac{\delta \ell}{A} = R$ se conoce como resistencia eléctrica

$\therefore \boxed{\Delta V = RI}$ conocida como ley de Ohm o ley de Pouillet.

Potencia eléctrica, P.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{qV}{t} = IV \rightarrow \boxed{P = VI}$$

con la ley de Ohm $\quad P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$

Variación de la Resistencia con la temperatura.—

Experimentalmente se comprueba que al aumentar la temperatura se incrementa el movimiento atómico y molecular en el conductor lo que obstaculiza el flujo de carga.

$$\Delta R = \alpha R_o \Delta T$$

α coeficiente de resistencia térmica ($°C^{-1}$)

R_o resistencia inicial a una temperatura inicial T_o

$$R_f - R_o = \alpha R_o (T_f - T_o)$$

$$\boxed{R_f = R_o\left[1 + \alpha (T_f - T_o)\right]}$$

TABLA DE RESISTIVIDADES DE ALGUNOS MATERIALES a 20°C

(no garantizado)

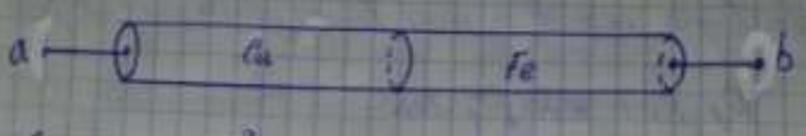
Material	Resistividad ($\Omega.m$)
Aluminio	$2,8 \times 10^{-8}$
Constantan	49×10^{-8}
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$
Oro	$2,2 \times 10^{-8}$
Hierro	$9,5 \times 10^{-8}$
Nicrom	100×10^{-8}
Tungsteno	$5,5 \times 10^{-8}$
Plata	$1,63 \times 10^{-8}$

EJEMPLOS

1.- Dos cilindros, uno de Cu y otro de hierro, de 0,5 mm de radio y longitud 2,5 m cada uno, están conectados en serie. Entre los terminales a y b de este sistema se aplica una diferencia de potencial $V_{ab} = 1V$. Halle

a.- La resistencia equivalente entre los terminales a y b.

b.- La densidad de corriente en cada conductor



$\delta_{Cu} = 1{,}75 \times 10^{-8}\ \Omega.m$

$\delta_{Fe} = 9{,}8 \times 10^{-8}\ \Omega m$

a) $$R_{Cu} = \frac{\delta_{Cu}\, l}{A} = \frac{1{,}75\times10^{-8} \cdot 2{,}5}{\pi(0{,}0005)^2} = 0{,}056\ \Omega$$

$$R_{Fe} = \frac{\delta_{Fe}\, l}{A} = \frac{9{,}8\times10^{-8} \times 2{,}5}{\pi(0{,}0005)^2} = 0{,}312\ \Omega$$

Como están en serie $R_{eq} = R_{Cu} + R_{Fe} = 0{,}368\ \Omega$ //

b.) $I_{Cu} = I_{Fe}$ (pues la intensidad de corriente es la misma ya que están en serie)

$$J_{Cu} = J_{Fe} = \frac{i}{A} = \frac{V_{ab}}{RA} = \frac{1}{0{,}368\,\pi(0{,}0005)^2} = 3{,}46\times10^{6}\ \frac{Amp}{m^2}$$

2.- Dos conductores cilíndricos, uno de cobre y otro de aluminio tienen igual longitud e igual sección transversal, y están sometidos al mismo potencial V. Halle la relación de las potencias disipadas por ellos.

$V_{Cu} = V_{Al}$; $\rho_{Cu} = 1{,}72\times10^{-8}\,\Omega m$

$\rho_{Al} = 2{,}8\times10^{-8}\,\Omega m$

$\frac{P_{Cu}}{P_{Al}} = ?$ $\quad P = IV = I^2R = \frac{V^2}{R}$

$$\frac{P_{Cu}}{P_{Al}} = \frac{\frac{V_{Cu}^2}{R_{Cu}}}{\frac{V_{Al}^2}{R_{Al}}} = \frac{R_{Al}}{R_{Cu}} = \frac{2{,}8\times10^{-8}}{1{,}72\times10^{-8}} = 1{,}63$$

3.- Se tiene una línea de transmisión de energía formada por una pareja de alambres de cobre de 5mm de diámetro. Las normas de seguridad para este tipo de alambre forrado establecen como corriente máxima de intensidad de trabajo 25A. Si la resistividad del cobre es $\rho_{Cu} = 1{,}75\times10^{-8}\,\Omega m$ y se cuenta con una línea de longitud 1Km. Determine:

a) La resistencia de la línea

b) La potencia disipada en las condiciones de límite de seguridad

Cada alambre tiene

$l = 1000\,m$; $r = 0{,}0025\,m$.

Resistencia de cada alambre

$R = \frac{\rho\, l}{A}$

a) Resistencia de la línea $\quad R = R_1 + R_2$ (está en serie)

$$R = 2\frac{\rho_{Cu}\, l}{\pi r^2} = \frac{2\times1{,}75\times10^{-8}\times1000}{3{,}1416\times(0{,}0025)^2} = 1{,}78\,\Omega$$

b) $P = I^2R = (25)^2 \cdot 1{,}78 = 1112{,}5$ Watt.

4.- Un alambre de hierro tiene una resistencia de 200Ω a 20°C. ¿Cuál será la resistencia a 80°C, $\alpha_{Fe} = 0{,}0006\ °C^{-1}$

$$R_f = R_0[1+\alpha(T_f - T_0)] = 200[1+0{,}0006(80-20)] = 207{,}2\ \Omega$$

EJERCICIOS PROPUESTOS

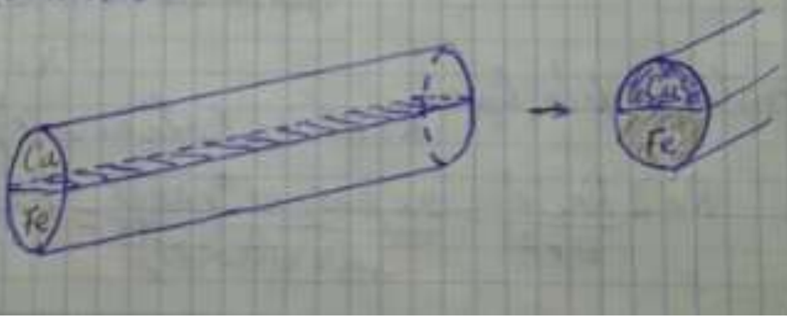
1.- La intensidad de corriente en el circuito varía en la forma $I = I_0 e^{-Kt}$. Halle la cantidad de carga que atraviesa una sección del conductor en los dos primeros segundos. Tome $K = 0{,}5\ seg^{-1}$, $I_0 = 0{,}2A$

2.- Un conductor cilíndrico de sección transversal $A = 0{,}01\ cm^2$ está formado por dos conductores de hierro y cobre, como se muestra en la figura. Las resistividades de los metales son: $\rho_{Cu} = 1{,}75 \times 10^{-8}\ \Omega m$, $\rho_{Fe} = 9{,}8 \times 10^{-8}\ \Omega.m$. La longitud del conductor compuesto es 2,5 m. Entre los extremos se aplica una diferencia de potencial de 1.5V. Halle:

a.) La resistencia del conductor

b) La intensidad de corriente por cada conductor

c) El valor de la intensidad de campo electrostático en cada conductor



8

3.- Se enrolla un alambre de aluminio, formando espiras bien apretadas, sobre un cilindro de radio 5cm. ¿Qué resistencia presenta dicho alambre cuando se ha enrollado una longitud de 20cm?. El radio del alambre es 0,2 mm; la resistividad del aluminio es $\rho_{Al} = 2{,}8 \times 10^{-8}\ \Omega m$

4.- Si el resistor del problema anterior va a operar a una tensión de 120V, y la potencia máxima que puede disipar es 150W ¿Qué longitud tendrá entonces?

5.- Una lámpara eléctrica tiene un filamento de 80 Ω conectada a una línea de corriente directa de 110V. ¿Cuál es la corriente que circula por el filamento? ¿Cuál es la potencia disipada por la bombilla?

6.- Un alambre de aluminio de 20Km de longitud y 0,04 cm² de área transversal se encuentra a 20°C. Si la temperatura se eleva 10°C determine qué variación experimenta la resistencia de dicho alambre. Tome los siguientes datos: resistividad del aluminio a 20°C $\rho_{Al} = 2.8 \times 10^{-8}\ \Omega m$; coeficiente de resistividad de temperatura $\alpha_T = 3{,}9 \times 10^{-3}\ °C^{-1}$; coeficiente de dilatación lineal $\alpha = 2{,}3 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$; coeficiente de dilatación superficial $\beta = 2\alpha$.