

4. Condensadores

Capacidad de un conductor

Al cargar un conductor realizamos un trabajo que queda almacenado en cargas en forma de energía potencial electrostática, el conductor adquiere un potencial.

La capacidad es la relación entre ^{del conductor} carga y ^{que adquiere} potencial.
Depende de la naturaleza, tamaño y forma.

{ carga: cantidad echado
potencial: "altura en recipiente"

* carga puntual: por grande que sea el objeto, la carga está en centro.

La capacidad es una **CONSTANTE**

$$\text{Capacidad conductor} = \frac{\text{carga conductor}}{\text{potencial conductor}}$$

$$C = \frac{Q}{V} \quad (\text{Faradio})$$

un **faradio** es la capacidad de un conductor que al suministrarle una carga de 1 coulombio adquiere el potencial de 1 voltio

$$\Delta F = \frac{\Delta C}{\Delta V}$$

Capacidad de una esfera conductora: $V = k \cdot \frac{Q}{R} \quad C = \frac{R}{k}$

Condensador eléctrico

El potencial de un conductor está influenciado por los potenciales próximos.
El condensador está formado por 2 conductores muy próximos cargados con igual cantidad pero de signo contrario.
↓
armaduras.

Un condensador es un dispositivo que almacena cargas, formado por dos superficies metálicas (armaduras) separadas por un dieléctrico (aislante).
La carga eléctrica total es nula (carga absoluta de sus armaduras)



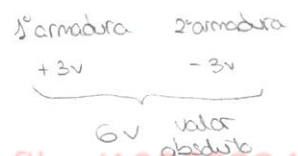
Las dos armaduras están a potenciales diferentes y el campo eléctrico entre ellas es uniforme.

Capacidad condensador

Relación entre carga absoluta de cualquiera de sus armaduras y diferencia de potencial entre ellas.

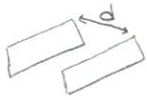
$$\text{Capacidad Condensador} = \frac{\text{carga (valor absoluto) de armadura}}{\text{Diferencia potencial armaduras (valor absoluto)}}$$

$$C = \frac{Q}{V_A - V_B}$$



Condensador plano

Formado por 2 conductores planos y paralelos



$$\text{Capacidad Condensador (F)} = \text{permitividad dieléctrica} \cdot \frac{\text{superficie placas (m}^2\text{)}}{\text{distancia placas (m)}}$$
$$\left(\frac{C^2}{N \cdot m^2}\right) \left(\frac{F}{m}\right)$$

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d}$$

Es constante, para variar la capacidad debe ser un condensador diferente con distinta superficie, resistencia o distancia.

* Cuando el medio no es el vacío, permitividad relativa.

$$C = \epsilon_r \cdot \left[\epsilon_0 \cdot \frac{S}{d} \right] = C_0$$

capacidad cuando solo hay aire

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

$$\rightarrow \frac{1}{4\pi k_0}$$

$$k_0 = 9 \cdot 10^9$$

$$C = \epsilon_r \cdot C_0$$

$$C = \epsilon_r \cdot C_0 \Rightarrow \epsilon_r = \frac{C}{C_0}$$

Hay un límite al reducir distancia entre placas, si se ponen muy cerca el campo será tan fuerte que los electrones atravesarán el dieléctrico quedando el condensador inservible.

Tensión nominal = máxima que puede soportar de forma continua sin dañarse. Depende del material y separación de placas.

Deberá ser al menos un 50% menor a la máxima durante su funcionamiento.

Permitividad: oposición a ser atravesado por campos eléctricos, + permitividad + oposición.

Tipos de condensadores

► Fijos: se clasifican en función del material aislante.

Electrolítico

Alta capacidad, tamaño reducido, funciona a bajas tensiones, tiene polaridad ± si lo conectamos mal se rompe.

Papel parafinado/encerado

Baja capacidad, tensión nominal no supera los 600V.

MICA

Gran rigidez eléctrica, pequeñas capacidades, grandes tensiones

Cerámico

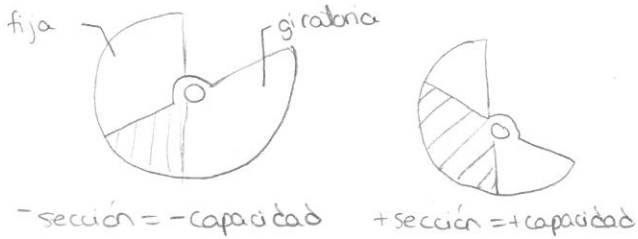
Cilíndricos o de disco, capacidad baja, tensión muy alta (30.000V)

Plástico

Poliéster o poliestireno, capacidades altas, tensión hasta 1000V

► Variables: una placa fija y otra que puede moverse sobre un eje. El más común es el giratorio que se usa en sintonización de radio. En función de la posición de placas tendrá más o menos sección eficaz (superficie enfrentada).

Son muchas placas fijas y muchas móviles en paralelo.



Indicación del valor capacidad

Inscritas en el propio componente, código 101 3 dígitos; 2 primeras cifras significativas y 1 el multiplicador. (picofaradios)

* código de colores.

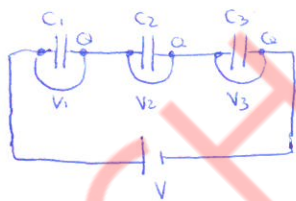
Asociación de condensadores

Condensador equivalente C_e es aquel que puede sustituir toda la asociación sin alterar cargas ni diferencias de potencial del circuito.

► En serie: Armadura negativa unida a la positiva y así sucesivamente.



La carga Q de todos los condensadores es la misma.



$$V = V_1 + V_2 + V_3 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q_3}{C_3} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

$$C_1 = 5 \mu F \quad C_2 = 10 \mu F \quad C_3 = 20 \mu F \quad C_4 = 40 \mu F$$

$$C_e = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{40}} = \frac{1}{\frac{8+4+2+1}{40}} \approx 2.6 \mu F$$

$$C = \frac{Q}{V} \quad Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_e$$

$$V = \sum V_i \quad C_e = \frac{1}{\sum \frac{1}{C_i}}$$

* Condensadores con misma carga Q .

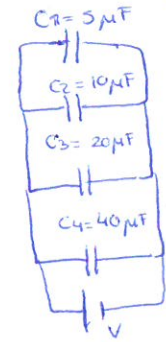
$$C_e = \frac{1}{\underbrace{\frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C}}_{n \text{ veces}}} = \frac{C}{n}$$

► en paralelo: todas las armaduras unidas a conductores de alimentación

$$V_i = d_e = V_e \quad V_1 = V_2 = V_3 = \dots$$

$$Q_e = \sum Q_i \quad C_1 = \frac{Q_1}{V_1} \quad C_2 = \frac{Q_2}{V_2} \quad C_3 = \frac{Q_3}{V_3}$$

$$C_e = \sum C_i \quad C_e = \frac{Q_e}{V} \rightarrow Q_e = C_e \cdot V$$



$$C_e = 5 + 10 + 20 + 40 = 75 \mu C$$

Energía almacenada

La energía potencial eléctrica almacenada en un condensador cargado es igual a la cantidad de trabajo requerido para cargarlo.

Para determinar la energía potencial mediante cálculo del trabajo W para cargarlo con una carga Q .

$$W_{A \rightarrow B} = Q(V_B - V_A)$$

El trabajo total es el producto de la carga por la tensión media: $W = \frac{1}{2} QV$ $W = \frac{1}{2} CV^2$ $W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

Carga y descarga de un condensador

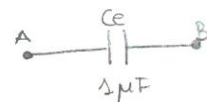
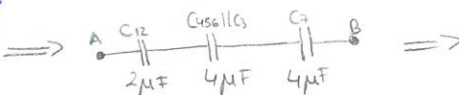
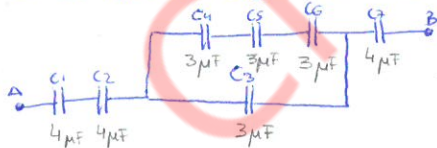
Para cargarlo es necesario una diferencia de potencial entre sus armaduras.

Si no hay resistencias la carga será instantánea (tiempo nulo). En la realidad siempre hay resistencias por lo que llevará un tiempo.

El condensador se opone a los cambios bruscos de tensión entre bornes.

12) Calcular capacidad equivalente de asociación de condensadores:

$C_1 = C_2 = C_4 = 4 \mu F$ $C_3 = C_5 = C_6 = 3 \mu F$ $V_{AB} = 500V$ ¿Carga en C_3 ? ¿Diferencia potencial en C_2 V_2 ? ¿Energía almacenada por condensador C_3 W_3 ?



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

$$C_e = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}} = 1 \mu F$$

$$C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{1}{4}} = 2 \mu F \quad C_{456} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}} = 1 \mu F \quad C_{456} \parallel C_3 = 1 + 3 = 4 \mu F$$

$$\text{¿} V_2 \text{? } \left. \begin{array}{l} C_2 = 4 \cdot 10^{-6} F \\ Q_2 = 5 \cdot 10^{-4} C \end{array} \right\} \left[V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-6}} = 125 \cdot 10^2 = 125 V \right]$$

$$\left. \begin{array}{l} C_{3-6} = 4 \cdot 10^{-6} F \\ Q_{3-6} = 5 \cdot 10^{-4} C \end{array} \right\} V_{3-6} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-6}} = 125 V \left\{ \begin{array}{l} V_3 \\ V_{345} \end{array} \right.$$

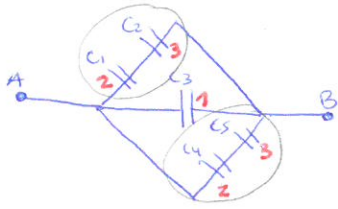
$$\left. \begin{array}{l} C_3 = 3 \cdot 10^{-6} F \\ V_3 = 125 V \end{array} \right\} \left[W_3 = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 125^2 = 0.0234375 J \right]$$

$$\left. \begin{array}{l} C_{456} = 1 \cdot 10^{-6} F \\ V_{456} = 125 V \end{array} \right\} \left[Q_{456} = 125 \cdot 1 \cdot 10^{-6} C \right] \left\{ \begin{array}{l} Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} \text{igual } V_3 \text{ porque están} \\ \text{en paralelo} \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} C_e = 1 \cdot 10^{-6} F \\ Q_e = 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^2 = 5 \cdot 10^{-4} C \end{array} \right\} \left[\begin{array}{l} V_e = 5 \cdot 10^2 V \\ Q_e = 5 \cdot 10^{-4} C \end{array} \right]$$

14) $C_1 = C_4 = 2 \mu F$ $C_2 = C_5 = 3 \mu F$ $C_3 = 1 \mu F$ $V_{a-b} = 1020 \text{ V}$ $\rightarrow V_3, V_{12}, V_{45}$ \rightarrow capacidad equivalente C_e ?

\rightarrow Diferencia potencial en C_2 V_2 ? \rightarrow carga almacenada en C_4 Q_4 ? \rightarrow energía C_3 W_3 ?



$$C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{3}} = 1\frac{1}{2} \mu F \quad C_{45} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{3}} = 1\frac{1}{2} \mu F \quad [C_e = 1\frac{1}{2} + 1\frac{1}{2} + 1 = 3\frac{1}{4} \mu F]$$

$$3) \begin{cases} V_3 = 1020 \\ C_3 = 1 \cdot 10^{-6} \end{cases} \quad [W_3 = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 1020^2 = 0.5202 \text{ J}]$$

$$2) \begin{cases} Q_2 = 1.224 \cdot 10^{-3} \\ C_2 = 3 \cdot 10^{-6} \end{cases} \quad [V_2 = \frac{Q}{C} = \frac{1.224 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-6}} = 408 \text{ V}]$$

$$1, 2) \begin{cases} C_{12} = 1\frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \text{ F} \\ V_{12} = 1020 \text{ V} \end{cases} \quad Q_{12} = C \cdot V = 1\frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 1020 = 1.224 \cdot 10^{-3} \text{ C} \rightarrow \text{Igual a } Q_1 \text{ y } Q_2 \text{ porque están en serie}$$

$$4, 5) \begin{cases} C_{45} = 1\frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \text{ F} \\ V_{45} = 1020 \text{ V} \end{cases} \quad [Q_{45} = C \cdot V = 1\frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 1020 = 1.224 \cdot 10^{-3} \text{ C}]$$

6) Considere un condensador de placas paralelas, cada una con un área de 0.2 m^2 y separadas una distancia de 3 cm . A este condensador se le aplica una diferencia de potencial de 3000 V hasta que se carga, después se desconecta de la fuente quedando aislado. Luego se llena el condensador con un material dieléctrico de permitividad relativa ϵ_r desconocida observándose que la ddp entre placas disminuye a 1000 V . Calcule:

1° Capacidad C_i del condensador $C_i = \epsilon \cdot \frac{S}{d}$ $\epsilon = \frac{\Delta}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}$

$$C_i = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{0.2}{10^{-2}} = 1.77 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

2° Carga de cada placa antes de rellenarlo: $C = \frac{Q}{V} \rightarrow Q_1 = C \cdot V = 1.77 \cdot 10^{-10} \cdot 3 \cdot 10^3 = 531 \cdot 10^{-9} \text{ C}$

3° energía almacenada antes rellenado

$$W = \frac{1}{2} Q_1 \cdot V_1 \rightarrow W_1 = \frac{1}{2} \cdot 531 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^3 = 796.5 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

4° Carga final rellenado: $Q_f = Q_1 \rightarrow 531 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ La carga es la misma, capacidad es constante mientras no se cambie el condensador.

5° Capacidad después rellenarlo: $C_f = \frac{Q_{\text{final}}}{V_{\text{final}}} = \frac{531 \cdot 10^{-9}}{1000 \text{ V}} = 531 \cdot 10^{-12} \text{ F}$

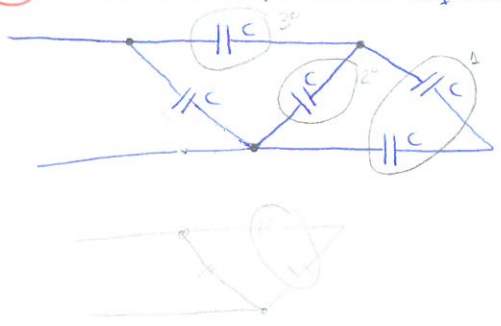
6° energía/trabajo almacenada después rellenado:

$$W = \frac{1}{2} Q_{\text{final}} \cdot V_{\text{final}} = \frac{1}{2} \cdot 531 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3 = 265.5 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

7° Valor permitividad relativa ϵ_r del dieléctrico:

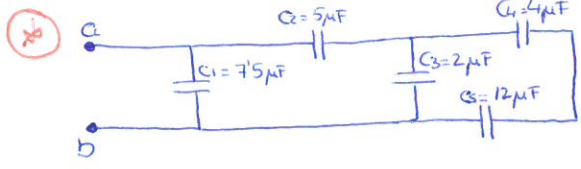
$$C_f = \epsilon \cdot \frac{S}{d} \rightarrow 531 \cdot 10^{-12} = \epsilon \cdot \frac{0.2}{10^{-2}} \rightarrow \epsilon = 2.655 \cdot 10^{-10}$$

23) Calcular capacidad equivalente



1° $\frac{1}{\frac{1}{C} + \frac{1}{C}} = \frac{1}{\frac{2}{C}} = \frac{C}{2}$ // 2° $\frac{C}{2} + C = \frac{3C}{2}$

3° $\frac{1}{\frac{2}{3C} + \frac{1}{C}} = \frac{1}{\frac{2+3}{3C}} = \frac{3C}{5}$ 4° $\frac{3C}{5} + C = \frac{8C}{5} = \boxed{\frac{16C}{5}}$



Diferencia potencial $V_3 = 500V$. ¿ C_e ? ¿ V_{ab} ? ¿ Q_4 ? ¿ W_{total} ?

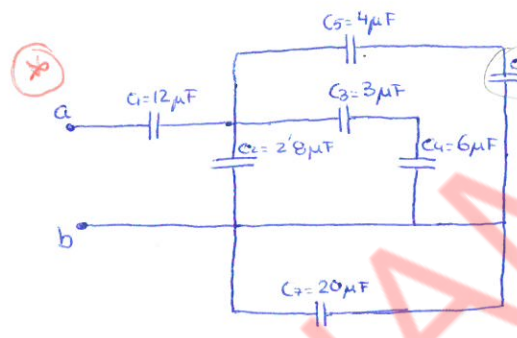
$C_{45} = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{1}{12}} = 3\mu F$ $C_{45} || C_3 = 3 + 2 = 5\mu F$ $C_{2-345} = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 2.5\mu F$ $C_{2-5} || C_1 = 7.5 + 2.5 = 10\mu F$ $C_e = 10\mu F$

$C = \frac{Q}{V}$ (45) $C = 3 \cdot 10^{-6} F$ $Q = C \cdot V = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 15 \cdot 10^{-4} C$ $Q_4 = 15 \cdot 10^{-4}$

(3-5) $C = 5 \cdot 10^{-6}$ $V = 500V$ $Q = C \cdot V = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 25 \cdot 10^{-4} C$ Q_{345} Q_2 igual, en serie.

(2-5) $C = 2.5 \cdot 10^{-6}$ $Q = 25 \cdot 10^{-4}$ $V = \frac{Q}{C} = \frac{25 \cdot 10^{-4}}{2.5 \cdot 10^{-6}} = 10^3 V$ $V_{ab} = 1000V$ → está en paralelo con C_1 , por eso es misma V_{ab} que V_{2-5} .

$W = \frac{1}{2} Q \cdot V = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V \cdot V = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 1000^2 = 5J$ $W = 5J$



$V_2 = 320V$. ¿ C_e ? ¿ Q_3 ? ¿ V_{ab} ? ¿ W_6 ? ¿ V_7 ?

C_7 = está cortada ambas a b, por lo que $V_7 = 0$

$C_{56} = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{1}{16}} = 3.2\mu F$ $C_{34} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} = 2\mu F$ $C_{2||34} = 2.8 + 2 + 3 = 8\mu F$

$C_{234-1} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{1}{12}} = 4.8\mu C$ $C_e = 4.8\mu C$

$V_2 = V_34$ porque están en paralelo

(34) $C = 2 \cdot 10^{-6} F$ $V = 320V$ $C = \frac{Q}{V}$; $Q_3 = C \cdot V = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 320 = 64 \cdot 10^{-5}$ $Q_3 = 64 \cdot 10^{-5}$

(234) $V = 320V$ $C = 8 \cdot 10^{-6} F$ $Q = C \cdot V \Rightarrow Q = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 320 = 256 \cdot 10^{-5}$ → igual a Q_3 y Q_6 $C = \frac{Q}{V}$; $V = \frac{Q}{C}$

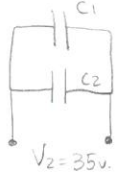
(2345) $Q = 256 \cdot 10^{-5}$ $C = 4.8 \cdot 10^{-6}$ $V = \frac{Q}{C} = \frac{256 \cdot 10^{-5}}{4.8 \cdot 10^{-6}} = 533.33 V$ V_{ab} .

$W_6 = \frac{1}{2} Q \cdot \frac{Q}{C} = \frac{1}{2} \cdot 1024 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1624 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-6}} = 0.0327 J$ $W_6 = 0.0327 J$

(56) $C = 3.2 \cdot 10^{-6}$ $V = 320V$ $Q = V \cdot C = 3.2 \cdot 10^{-6} \cdot 320 = 1024 \cdot 10^{-3}$

7) Condensador de 100 nF está conectado a batería de 50 V . Se desconecta la batería y se conecta en paralelo con otro condensador. Se conecta a continuación un voltímetro entre sus placas y se mide una diferencia de potencial de 35 V . Calcular capacidad del segundo condensador.

$$C_1 = 100 \cdot 10^{-9} \text{ F} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_1 = C \cdot V = 100 \cdot 10^{-9} \cdot 50 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ V_1 = 50 \text{ V} \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} Q_1 + Q_2 = Q_F \\ \textcircled{1} \rightarrow Q_2 = Q_1 - Q_1 \end{array} \right.$$

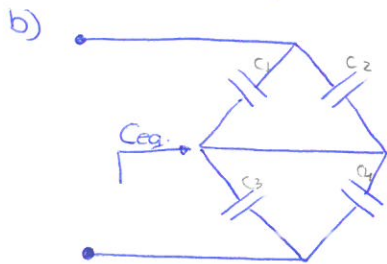


$$C_1 = 100 \cdot 10^{-9} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_F = 35 \text{ V} \\ Q_F = 100 \cdot 10^{-9} \cdot 35 = 3.5 \cdot 10^{-6} \text{ C} \end{array} \right.$$

$$\textcircled{1} \rightarrow Q_2 = 5 \cdot 10^{-6} - 3.5 \cdot 10^{-6} = 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ C} \quad \left. \right\} \text{ tiene que salir } \oplus$$

$$\textcircled{2} \quad Q_2 = 1.5 \cdot 10^{-6} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_2 = 35 \text{ V} \\ C = \frac{Q}{V} = \frac{1.5 \cdot 10^{-6}}{35} = \underline{42.86 \cdot 10^{-9} \text{ F}} \end{array} \right.$$

23) Calcular capacidad equivalente:



$$C_1 \parallel C_2 = C + C = 2c$$

$$C_3 \parallel C_4 = C + C = 2c$$

$$C_{12,34} = \frac{1}{\frac{1}{2c} + \frac{1}{2c}} = \frac{1}{\frac{2}{2c}} = \frac{2c}{2} = \boxed{c}$$