

MATERIAL: FM-30

ELECTRICIDAD IV

EL CAPACITOR

Un capacitor está formado por dos conductores, muy cercanos entre sí, que transportan cargas iguales y opuestas.

El capacitor más sencillo es el de placas plano - paralelas, ilustrado en la figura 1. Se puede comprobar que existe una diferencia de potencial entre dichas placas si se conecta a ellas una batería, como lo muestra la figura 1. Los electrones se transfieren de la placa A a la placa B, produciendo una carga igual y opuesta sobre las placas.

La capacitancia entre dos conductores que tienen cargas iguales y opuestas es la razón de la magnitud de la carga sobre cualquier conductor a la diferencia de potencial resultante entre los dos conductores.

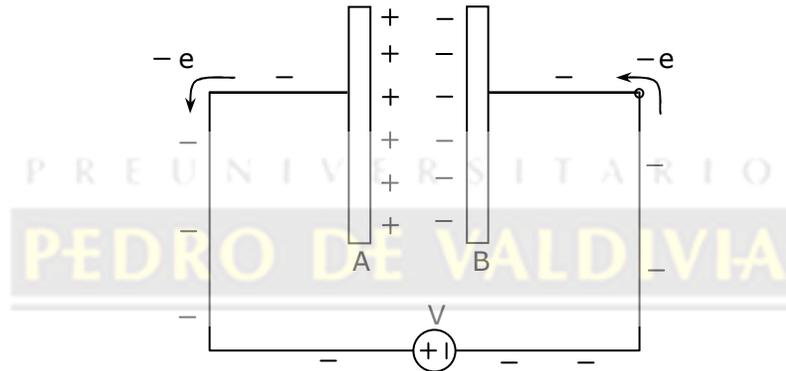


fig. 1

La ecuación para la capacitancia (o capacidad) de un capacitor es la misma que la ecuación, para un conductor individual, excepto que en este caso el símbolo V se aplica a la diferencia de potencial y el símbolo Q se refiere a la carga que está presente en cualquiera de los conductores.

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

$$1F = \frac{1C}{1V}$$

La unidad de medida de la capacitancia es el Farad. En vista de la enorme magnitud del Coulomb como unidad de carga, el Farad (o Faradio) es una unidad de capacitancia demasiado grande para las aplicaciones prácticas. Por ese motivo, con frecuencia se usan los siguientes submúltiplos:

$$1 \text{ microfarad } (\mu F) = 10^{-6} F \quad \text{ó} \quad 1 \text{ picofarad } (pF) = 10^{-12} F$$

No es raro encontrar capacitancias de sólo unos cuantos picofarad en algunas aplicaciones de comunicación eléctrica.

La capacidad de un condensador de placas plano- paralelas, en función de la distancia (d) que separa las placas y el área (A) de las placas, está dada por:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Se observa que la capacidad del condensador aumentará cuanto más grande sea el área A de las placas y más chica sea la distancia d que separa las placas. ϵ_0 es una constante llamada permisividad del espacio libre, cuyo valor es:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} [C^2 / N \cdot m^2]$$

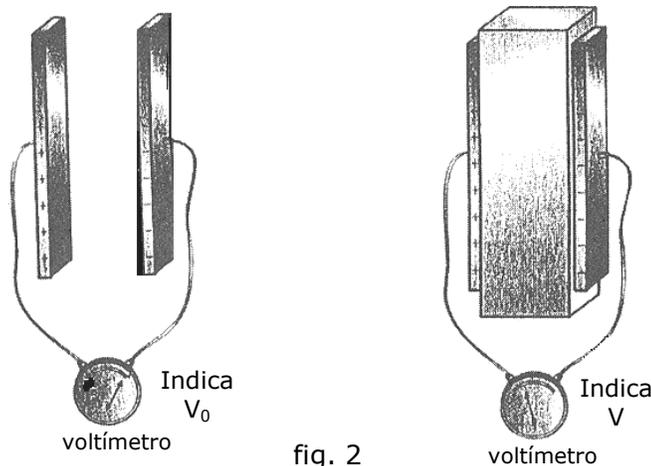
Capacitores con dieléctricos

Desde el punto de vista atómico los materiales aislantes tienen como característica que sus electrones están firmemente ligados a sus átomos y no tienen libertad de moverse hacia otros átomos del material; de ahí el nombre de **dieléctricos**.

Para examinar las propiedades de los dieléctricos, imaginaremos el siguiente experimento. Supongamos que a un condensador cargado, con una diferencia de potencial V_0 entre sus placas, lo rellenamos con un material aislante. El nuevo dispositivo cumple con todas las propiedades que definen a un condensador y, en consecuencia, satisface la relación:

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

Si medimos la diferencia de potencial que hay entre sus placas (la batería ya no está conectada) encontramos que la diferencia de potencial cambió de V_0 (sin dieléctrico) a V_1 (con dieléctrico). Notablemente, cualquiera sea el material aislante que se introduzca, encontraremos siempre que $V_1 < V_0$ (ver figura 2). Más aún, si retiramos el dieléctrico la diferencia de potencial vuelve a ser V_0



¿A qué puede atribuirse esta disminución de la diferencia de potencial que se produce al introducir un dieléctrico? ¿Cambió la carga, la capacidad o ambas? Debido a que el voltaje vuelve a ser el mismo al quitar el aislante, se deduce que la cantidad de carga permanece constante en todo el experimento, con o sin material entre sus placas.

Podemos concluir entonces que lo que varía al introducir un material aislante es la capacidad del condensador. Es decir, *el nuevo condensador tiene una nueva capacidad C_1 , mayor que la capacidad que tiene "con vacío" C_0* , dada por:

$$C_1/C_0 = (Q/V_1) / (Q / V_0) = V_0 / V_1 = k$$

La constante K, que es la letra griega *kappa*, recibe el nombre de **constante dieléctrica**. Se puede escribir la nueva expresión de la capacitancia como:

$$C = k \cdot \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Al parecer, este resultado indica que se podría alcanzar una capacitancia muy grande reduciendo la distancia (d) entre las placas. En la práctica, el valor mínimo de *d* está limitado por la descarga eléctrica que puede producirse a través del material dieléctrico que separa las placas. Para cualquier separación de placas dada, existe un campo eléctrico máximo que se puede producir en el dieléctrico antes de que ocurra una descarga disruptiva en el mismo y comience a conducir. Este campo eléctrico máximo se conoce como la **resistencia dieléctrica**, y su valor en el caso del aire es de alrededor de $3 \cdot 10^6$ V/m.

La constante dieléctrica depende de cada material y su valor más bajo corresponde al vacío, que cumple con $K = 1$. En la Tabla se dan las constantes dieléctricas de algunos materiales característicos.

Material	Constante dieléctrica (k)
Vacío	1
Aire seco	1,00059
Etanol	1,0061
Teflón	2,1
Benceno	3,1
Nylon	3,4
Vidrio Pyrex	5,6
Titanato de estroncio	250

Combinaciones de Capacitores

Conexión en paralelo

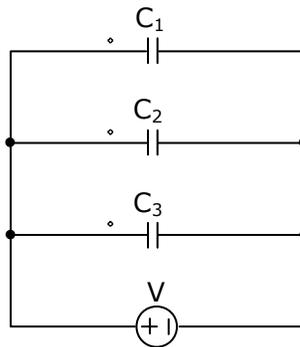


fig. 3

Consideremos la capacitancia del conjunto, es decir, la capacitancia equivalente, C_{EQ} , de un condensador único que sustituya al conjunto. Evidentemente, el voltaje en las armaduras de este capacitor sería igual a V , y para que pueda sustituir al conjunto, la carga Q en sus placas deberá ser igual a la suma de las cargas existentes en cada capacitor de la conexión.

Entonces:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Pero, como $C_{EQ} = Q/V$, vemos que

$$C_{EQ}V = C_1V + C_2V + C_3V \Rightarrow C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3$$

Conexión en serie

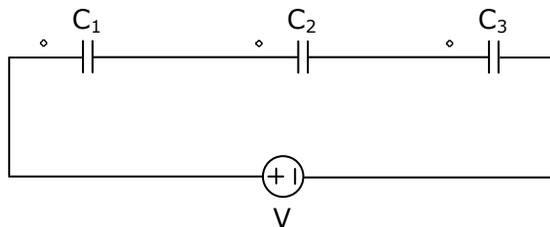


fig. 4

Consideremos la capacitancia del conjunto, es decir, la capacitancia equivalente, C_{EQ} , de un condensador único que sustituya al conjunto. La diferencia de potencial en la capacitancia equivalente, es igual a la suma de los voltajes en cada uno de los capacitores. Entonces,

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

como la carga en las armaduras de cada condensador es la misma, tenemos que:

$$\frac{Q}{C_{EQ}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \Rightarrow \frac{1}{C_{EQ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Energía de un capacitor cargado

Considere un capacitor que estaba descargado inicialmente. Cuando una fuente de diferencia de potencial se conecta al capacitor, la diferencia de potencial entre las placas se incrementa en la medida que se transfiere carga. A medida que se acumula más y más carga en el capacitor, se vuelve cada vez más difícil transferir una carga adicional. Supongamos ahora que se representa como Q la carga total transferida y la diferencia de potencial final como V . La diferencia de potencial promedio a través de la cual se mueve la carga se expresa de este modo:

$$V_{\text{promedio}} = \frac{V_{\text{final}} + V_{\text{inicial}}}{2} = \frac{V + 0}{2} = \frac{1}{2} V$$

Puesto que la carga total transferida es Q , el trabajo total (W) realizado en contra de las fuerzas eléctricas es igual al producto de Q por la diferencia de potencial promedio V_{promedio} . Por lo tanto,

$$W = Q \left(\frac{1}{2} V \right) = \frac{1}{2} QV$$

Este trabajo es equivalente a la energía potencial electrostática de un capacitor cargado. Si partimos de la definición de la capacitancia ($Q=CV$), esta energía potencial se puede escribir de diversas maneras:

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

Cuando C se expresa en Farad, V en Volt y Q en Coulomb, la energía potencial estará expresada en Joule. Estas ecuaciones se aplican por igual a todos los capacitores independientemente de cómo estén contruidos.

Circuito RC

Considere el circuito ilustrado en la figura 5, que contiene sólo un capacitor y un resistor. Cuando el interruptor se mueve a S_1 , el capacitor empieza a cargarse rápidamente mediante la corriente i . Sin embargo, a medida que aumenta la diferencia de potencial Q/C entre las placas del capacitor, la rapidez de flujo de carga al capacitor disminuye. En cualquier instante, la caída iR a través del resistor debe ser igual que la diferencia de potencial entre voltaje V_0 de las terminales de la batería y el voltaje presente en el condensador

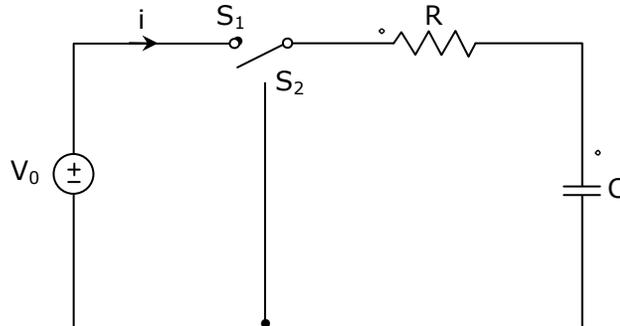


fig. 5

$$V_0 - \frac{Q}{C} = iR$$

donde

i = corriente instantánea.

Q = carga instantánea en el capacitor.

Con la utilización de herramientas de cálculo diferencial e integral, se puede deducir que la carga instantánea del capacitor es:

$$Q(t) = C \cdot V_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

y la corriente instantánea se obtiene por medio de

$$i(t) = \frac{V_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Inicialmente, la carga Q es cero, y la corriente i es máxima. Por lo tanto, en el tiempo $t=0$.

$$Q = 0 \text{ e } i = \frac{V_0}{R}$$

Las ecuaciones para calcular la carga y la corriente instantánea, se simplifican en el instante particular en que $t = RC$. Este tiempo, generalmente representado por τ , se llama constante de tiempo del circuito.

$$\tau = RC$$

En la figura 6 se muestra el comportamiento gráfico del proceso de carga del condensador en el tiempo.

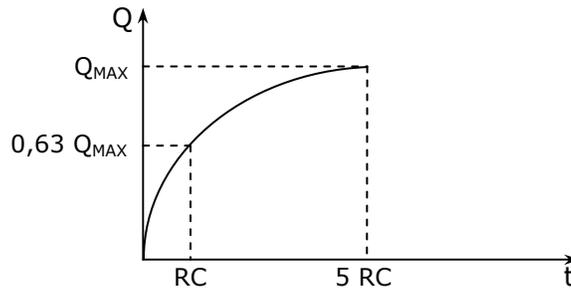


fig. 6

La carga en un capacitor se elevará al 63 por ciento de su valor máximo después de cargarse por un periodo de una constante de tiempo.

La figura 7 muestra el comportamiento de la corriente en el circuito durante la carga del capacitor, la cual se aproxima a cero mientras aumenta la carga de éste.

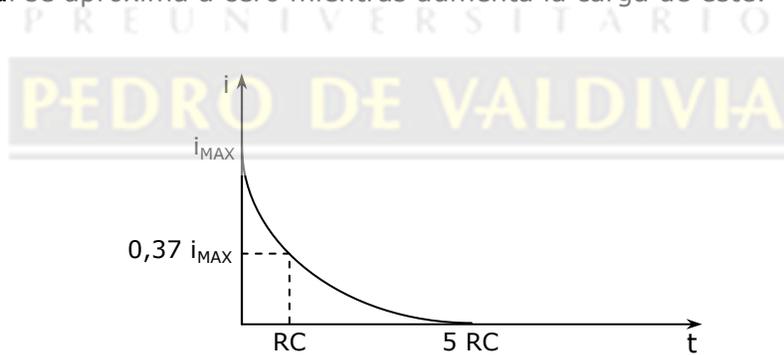


fig. 7

La corriente suministrada a un capacitor disminuirá al 37 por ciento de su valor inicial después de cargarse por un periodo de una constante de tiempo.

Nota: Por razones prácticas, un capacitor se considera totalmente cargado después de un periodo de tiempo igual a cinco veces la constante de tiempo ($5RC$). Si el interruptor de la figura 19 ha permanecido en la posición S_1 durante este lapso de tiempo, por lo menos, se puede suponer que el capacitor ha quedado cargado al máximo CV_0 . Si se mueve el interruptor a la posición S_2 , la fuente de voltaje queda desconectada del circuito y se dispone de un camino o trayectoria para la descarga.

EJEMPLOS

1. Uno de los elementos más presentes en los circuitos es el condensador, de el se afirma que

- I) el condensador almacena energía que después puede ser liberada para fines prácticos.
- II) un condensador o capacitor almacena energía a través del campo eléctrico entre sus placas.
- III) La capacidad del condensador varía al variar el voltaje entre sus placas.

Es (son) correcto(s)

- A) sólo I
 - B) sólo II.
 - C) sólo III.
 - D) sólo I y II.
 - E) sólo II y III.
2. Se tiene un capacitor cargado con carga Q , el capacitor no está conectado a un circuito. Si las placas del condensador se acercaron entre sí de modo que la separación entre ellas disminuyó a la cuarta parte, entonces es correcto afirmar que

- A) la carga almacenada disminuyó a la cuarta parte.
- B) el voltaje entre ellas disminuyó a la cuarta parte.
- C) la capacidad disminuyó a la cuarta parte.
- D) la capacidad no puede cambiar.
- E) el voltaje entre ellas no puede cambiar.

3. Cuando en un condensador de placas paralelas el área de las placas se cuadruplica y la distancia entre ellas disminuye a la mitad, la capacidad del condensador

- A) no varía.
- B) aumenta al doble.
- C) disminuye a la mitad.
- D) se octuplica.
- E) Aumenta dieciséis veces.

4. Para un condensador de 100 microfaradios, sometido a un voltaje de 40 V será correcto afirmar que la energía almacenada en el es igual a

- A) $8 \cdot 10^{-2}$ J.
- B) 8 J
- C) $4 \cdot 10^{-4}$ J
- D) $8 \cdot 10^2$ J
- E) $16 \cdot 10^{-2}$ J

PROBLEMAS DE SELECCIÓN MÚLTIPLE

1. En el circuito que se aprecia en la figura 8 el capacitor $C_1 = 8 \mu\text{F}$, $C_2 = 4 \mu\text{F}$ y la diferencia de potencial V es de 20 V. Con los datos dados y por lo que muestra la figura es correcto afirmar que la carga total almacenada en los condensadores es

- A) $8 \cdot 10^{-6} \text{ C}$.
 B) $16 \cdot 10^{-6} \text{ C}$.
 C) $8 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.
 D) $16 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.
 E) $24 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.

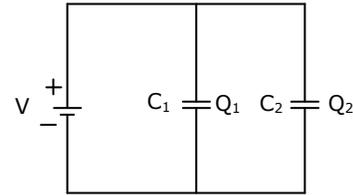


fig. 8

2. Con respecto a la capacidad de un condensador de placas plano-paralelas, es **incorrecto** afirmar que

- A) las tres siguientes afirmaciones son verdaderas.
 B) la capacidad es directamente proporcional al área de las placas.
 C) la capacidad es inversamente proporcional a la distancia que separa las placas.
 D) al introducir un dieléctrico, la capacidad aumenta.
 E) las tres afirmaciones anteriores son falsas.

3. Para el circuito que muestra la figura 9 es correcto afirmar que el voltaje y la carga almacenada en el condensador son respectivamente

- A) 20 V y 10^{-4} C
 B) 4 V y 10^{-6} C
 C) 5 V y 4 C
 D) 20 V y 4 C
 E) 4 V y 10^{-5}

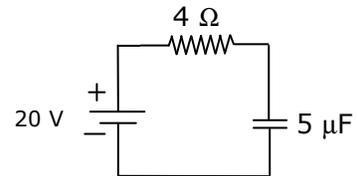


fig. 9

4. Para el circuito que muestra la figura 10 es correcto afirmar que el voltaje y la carga almacenada en el condensador, son respectivamente

- A) 4 V y 10^{-6} C
 B) 20 V y 10^{-4} C
 C) 5 V y 4 C
 D) 20 V y 4 C
 E) 4 V y 10^{-5} C

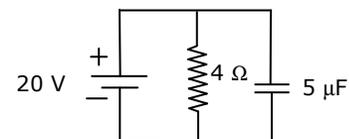


fig. 10

5. Se tiene un condensador conectado tal como lo muestra la figura 11. Si el valor de la diferencia de potencial aplicado V_0 se reduce a la mitad, entonces
- I) la capacidad del condensador se reduce a la mitad.
 - II) la energía almacenada en el condensador se reduce a la cuarta parte.
 - III) la carga en las placas se duplica.

Es (son) verdadera(s)

- A) sólo I.
- B) sólo II.
- C) sólo III.
- D) sólo I y III.
- E) sólo II y III.

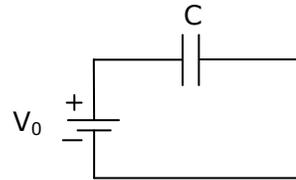


fig. 11

6. En la figura 12, se tienen tres condensadores cada uno de capacidad de $6 \mu\text{F}$, entonces la capacidad equivalente del sistema es

- A) $18 \mu\text{F}$
- B) $12 \mu\text{F}$
- C) $9 \mu\text{F}$
- D) $4 \mu\text{F}$
- E) $2 \mu\text{F}$

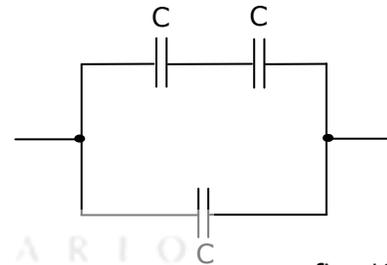


fig. 12

7. La capacidad equivalente entre A y B de los condensadores que muestra la figura 13, si cada uno mide $3 \mu\text{F}$, es igual a

- A) $1/3 \mu\text{F}$.
- B) $1 \mu\text{F}$.
- C) $3 \mu\text{F}$.
- D) $6 \mu\text{F}$.
- E) $9 \mu\text{F}$.

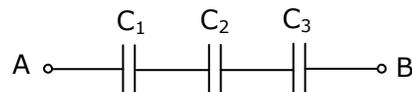


fig. 13

8. En relación a los condensadores mostrados en la figura 14, la diferencia de potencial en los extremos de cada condensador, es respectivamente

- A) 12 V y 18 V .
- B) 8 V y 4 V .
- C) 3 V y 6 V .
- D) 6 V y 3 V .
- E) 18 V y 12 V .

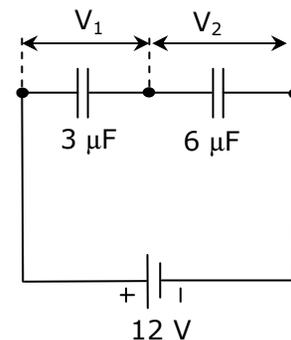


fig. 14

9. En el circuito de la figura 15, se tienen 4 condensadores conectados entre sí como se indica a continuación:

- I) Los condensadores C_1 y C_2 están conectados en paralelo.
- II) Los condensadores C_3 y C_4 están conectados en paralelo.
- III) Los condensadores C_1 y C_3 están conectados en serie.

Es (son) verdadera(s)

- A) sólo I.
- B) sólo II.
- C) sólo III.
- D) sólo I y III.
- E) todas ellas.

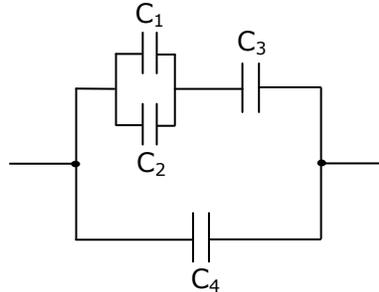
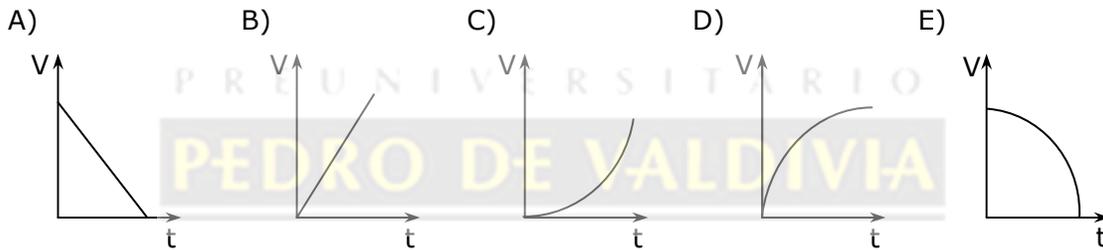


fig. 15

10. En un circuito abierto donde hay una fuente de voltaje, una resistencia y un condensador. Al cerrar el circuito el voltaje presente en el condensador irá variando tal como se aprecia en el gráfico mostrado en



11. Si un condensador de $20 \mu\text{F}$ de capacitancia, mantiene una carga de $4 \cdot 10^{-3} \text{ C}$, la energía almacenada en el es

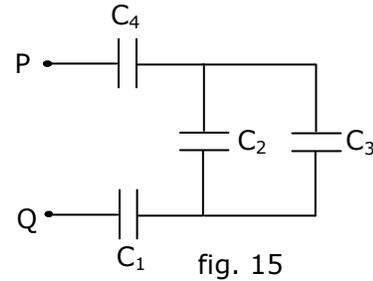
- A) 0,04 J
- B) 0,4 J
- C) 4 J
- D) 40 J
- E) 400 J

12. La carga acumulada por un condensador de $100 \mu\text{F}$ al cual se le aplica una diferencia de potencial de 40 V es

- A) 0,4 C
- B) $4 \times 10^{-2} \text{ C}$
- C) $4 \times 10^{-3} \text{ C}$
- D) $4 \times 10^{-4} \text{ C}$
- E) $4 \times 10^{-5} \text{ C}$

13. Un circuito formado por 4 condensadores, C_1, C_2, C_3, C_4 de valores $C, 2C, 3C$ y $4C$ respectivamente, entonces la capacidad equivalente entre P y Q

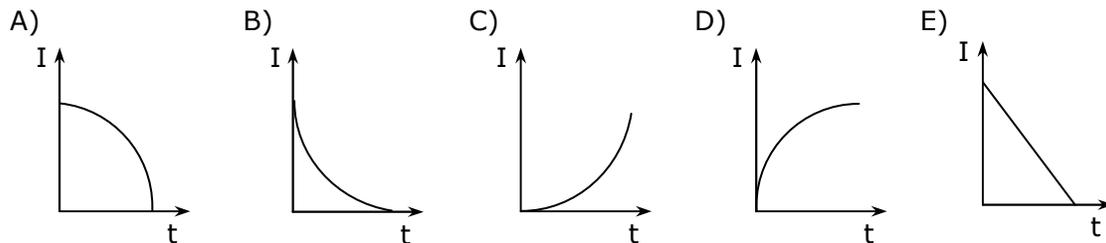
- A) $4C$
 B) $20C/3$
 C) $2C/20$
 D) $4C/29$
 E) $20C/29$



14. Un condensador inicialmente descargado se conecta a una pila y adquiere una carga de 2 mC y una diferencia de potencial entre sus placas de 10 v . ¿Cuál es la capacidad, en mF , del condensador?

- A) 200
 B) 20
 C) 2
 D) 0,2
 E) 0,02

15. En un circuito donde hay una fuente de voltaje, una resistencia y un condensador cargado, al producirse la descarga del condensador a través de la resistencia, la forma en que irá variando la intensidad de corriente en el circuito se aprecia en el gráfico mostrado en



CLAVES DE LOS EJEMPLOS

1D 2B 3D 4A

Puedes complementar los contenidos de esta guía visitando nuestra web
<http://www.pedrovaldivia.cl/>