

9

Los condensadores

Contenidos

- 9.1. Funcionamiento de un condensador
- 9.2. Capacidad de un condensador
- 9.3. Carga de un condensador
- 9.4. Descarga de un condensador
- 9.5. Constante de tiempo de carga y descarga de un condensador
- 9.6. Especificaciones técnicas de los condensadores
- 9.7. Tipos de condensadores
- 9.8. Identificación de los valores de los condensadores
- 9.9. Asociación de condensadores

Objetivos

- Describir el funcionamiento y la función de los condensadores.
- Evaluar los procesos de carga y descarga de un condensador.
- Seleccionar adecuadamente las magnitudes de un condensador.
- Reconocer los tipos de condensadores.
- Calcular la capacidad equivalente al asociar condensadores en serie y en paralelo.

El condensador es un dispositivo muy utilizado en la electricidad, sobre todo en aplicaciones de circuitos electrónicos. Pero ¿qué función cumple el condensador en un circuito? Se puede decir que un condensador es un elemento capaz de almacenar pequeñas cantidades de energía eléctrica para devolverla cuando sea necesaria.

9.1. Funcionamiento de un condensador

Si conectamos un condensador electrolítico de alta capacidad, como por ejemplo 4.700 μF (microfaradios), a una pila de 9 V, este se cargará de electricidad, casi de forma inmediata. Esto lo podremos comprobar al conectar un voltímetro entre los extremos del condensador cargado, que nos indicará que se ha cargado con la misma tensión de la pila (9 V). Si ahora conectásemos un diodo LED a los terminales del condensador cargado, se podría observar que el diodo se ilumina durante el pequeño tiempo que dure la descarga de dicho condensador (Figura 9.1).

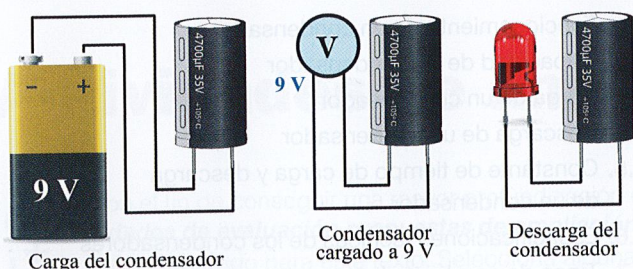


Figura 9.1. Carga y descarga de un condensador.

Así, podríamos decir que un condensador es un componente que es capaz de almacenar una pequeña carga eléctrica, que posteriormente puede devolver. Además, es importante observar que la tensión a la que se carga el condensador siempre coincide con la fuente de tensión a la que se haya conectado. Así, por ejemplo, si una vez cargado el condensador de la Figura 9.1, se le conectase a una batería de 24 V, este aumentaría su carga hasta alcanzar esa misma tensión.

Para construir un condensador basta con montar dos placas metálicas conductoras separadas por un material aislante, denominado dieléctrico, como aire, papel, cerámica, mica, plástico, etc. (Figura 9.2).

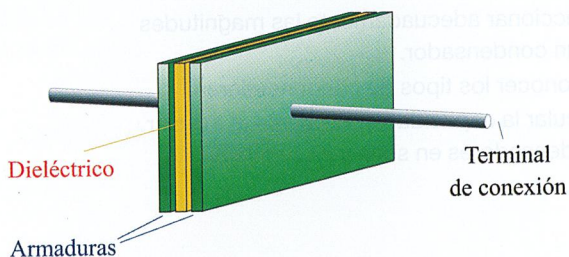


Figura 9.2. Constitución de un condensador.

Normalmente, este dieléctrico se dispone en forma de lámina muy fina para conseguir que las placas metálicas, denominadas armaduras, se encuentren lo más próximas unas de otras.

El condensador se carga de electricidad, según los siguientes fundamentos. Si conectamos las armaduras de un condensador como se indica en el circuito de la Figura 9.3, los electrones en exceso del polo negativo de la pila se dirigirán a la armadura A, cargándola negativamente. A su vez, en la parte interna de la armadura B se producirá una acumulación de cargas positivas por inducción electrostática (recuerda que las placas están muy próximas y, que por tanto, existe una gran atracción entre las cargas eléctricas de ambas armaduras debido a la acción del campo eléctrico). Por otro lado, la carga negativa acumulada en la parte externa de la armadura B es atraída por el polo positivo de la pila, lo que completa la carga del condensador. Una vez que esto suceda, ya no habrá más movimiento de electrones, a no ser que se aumente la tensión de la pila.

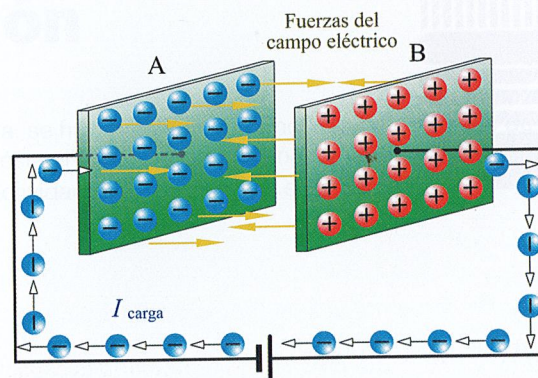


Figura 9.3. Carga de un condensador.

Una vez cargado el condensador, si se lo desconecta de la fuente de energía eléctrica, la acumulación de cargas se mantiene gracias a que sigue existiendo la fuerza de atracción entre las armaduras cargadas debido a la diferencia de cargas (Figura 9.4).

¿Qué ocurriría si una vez cargado el condensador aplicásemos a este una tensión mayor? Al aumentar la tensión aplicada, aumentan las fuerzas de atracción entre las cargas de las armaduras, y por tanto aparece una nueva corriente, que carga el condensador hasta alcanzar la nueva tensión aplicada.

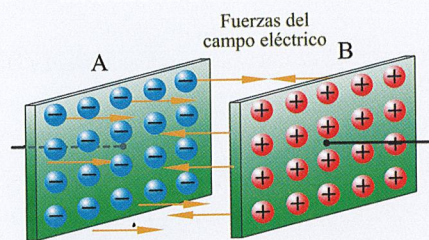


Figura 9.4. Condensador cargado.

¿Qué ocurre si conectamos un condensador en serie en un circuito de corriente continua? Solo existe corriente



eléctrica mientras se carga el condensador, por lo que una vez que se termina la carga se interrumpe el circuito. Por tanto, se puede decir que un condensador no deja pasar la corriente continua.

¿Qué ocurre si conectamos un condensador en serie en un circuito de corriente alterna? El condensador se carga mientras aumenta la tensión entre sus placas, y se descarga cuando la tensión acumulada es superior a la aplicada. Con lo cual en C.A. el condensador se carga y descarga en cada mitad del ciclo, haciendo fluir corriente por el circuito en todo momento. En conclusión, un condensador sí permite el paso de la corriente alterna, aunque, como ya estudiaremos más adelante, se produce una distorsión o desfase en el tiempo entre la tensión y la corriente.

9.2. Capacidad de un condensador

Se denomina capacidad de un condensador a la propiedad que este posee de almacenar mayor o menor cantidad de electricidad.

La cantidad de cargas que puede almacenar un condensador depende, fundamentalmente, de la tensión aplicada entre sus armaduras y de sus características constructivas.

Para entender mejor esto vamos a comparar la capacidad de almacenar cargas de un condensador con la capacidad de almacenar aire de un globo.

Para que el aire entre en un globo es necesario insuflarlo con una cierta presión, de tal forma que, según aumentemos dicha presión, mayor será la cantidad de aire que conseguiremos almacenar en dicho globo (Figura 9.5).

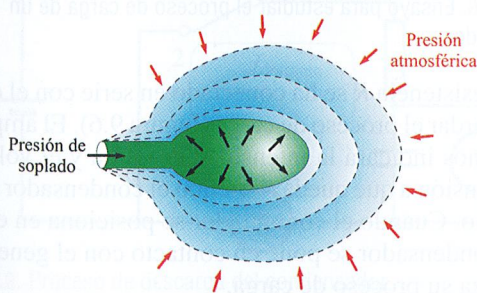


Figura 9.5. Comparación entre el llenado de un globo y la carga de un condensador.

En conclusión, la cantidad de aire que es posible introducir en un globo depende del tamaño del globo y de la presión aplicada a este. Por supuesto, si la presión aplicada fuese superior a la que pueden soportar las paredes elásticas del globo, este estallaría en pedazos.

Si ahora comparamos el concepto de presión aplicado al globo con el de tensión aplicado a las armaduras de un

condensador, resultará que la cantidad de cargas almacenadas por un condensador será mayor al aumentar dicha tensión. Debe tenerse en cuenta que las cargas fluyen a las armaduras debido a la diferencia de cargas o tensión que le proporciona la pila o el generador.

Por otro lado, cuanto mayor sea la superficie del dieléctrico, menor la distancia que separa las armaduras y mejor la calidad del aislante, mayor será la capacidad de almacenar cargas del condensador.

Si llamamos Q a la cantidad de carga almacenada por el condensador, C a la capacidad del condensador y U a la tensión entre las armaduras, resulta que:

$$Q = C \cdot U$$

Q = Culombios

C = Faradios

U = Voltios

La unidad de capacidad es el faradio (F). Se puede decir que un condensador posee la capacidad de un faradio cuando almacena una carga de un culombio al aplicar una tensión de un voltio entre sus placas.

El faradio es una unidad muy grande, por lo que se utilizan submúltiplos, correspondientes a su millonésima parte, milmillonésima parte y billonésima parte, que reciben los nombres de:

- **Microfaradio (μF)**

$$1 \mu F = 1/1.000.000 = 0,000001 = 10^{-6} F$$

- **Nanofaradio (nF)**

$$1 nF = 1/1.000.000.000 = 0,000000001 = 10^{-9} F$$

- **Picofaradio (pF)**

$$1 pF = 1/1.000.000.000.000 = 0,000000000001 = 10^{-12} F$$

Actividad resuelta 9.1

Calcula la carga eléctrica almacenada por un condensador de $2.200 \mu F$ de capacidad cuando se lo conecta a una pila de $4,5 V$.

Solución:

Lo primero que hacemos es cambiar las unidades:

$$\frac{2.200 \mu F}{1.000.000} = 0,0022 F$$

$$Q = C \cdot U = 0,0022 \cdot 4,5 = 0,0099 \text{ culombios}$$

La capacidad de un condensador es mayor cuanto más grande sea la superficie de sus armaduras, ya que al aumentar la superficie de cargas enfrentadas aumenta la carga del condensador. Por otro lado, la capacidad es menor cuanto mayor sea la distancia que separa a las cargas, ya que estas se mantienen sujetas en las armaduras gracias a la atracción que se produce entre ellas por el efecto de las diferencias de cargas. Si la distancia entre estas fuera grande, apenas habría atracción y la capacidad disminuiría.

Por último, se ha comprobado que, según sea la sustancia aislante que se introduce entre las armaduras, la capacidad también varía. Este factor se mide con la constante dieléctrica de la sustancia que se utiliza como aislante.

La expresión matemática que relaciona la capacidad con sus características constructivas es:

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

Como la constante dieléctrica del vacío es igual a:

$$\epsilon_0 = 1/4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9 \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

la expresión final podría quedar así:

$$C = \frac{\epsilon_r}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{S}{d}$$

S = Superficie de las armaduras en m^2 .

d = Espesor del dieléctrico en m.

ϵ_r = Constante dieléctrica de la sustancia aislante relativa al vacío.

ϵ_0 = Constante dieléctrica del vacío.

En la Tabla 9.1 aparecen reflejados los valores de la constante dieléctrica de los materiales más comunes.

Tabla 9.1. Constante dieléctrica de diferentes aislantes

Sustancia	ϵ	Sustancia	ϵ
Aire	1	Ebonita	2,5 a 3,2
Petróleo	2	Poliéster	3
Aceite mineral	2,2 a 2,4	Mica	3 a 6
Parafina	1,9 a 2,3	Porcelana	4,5 a 6
Papel	2 a 2,8	Vidrio	5 a 10
Madera	2 a 8	Baquelita	5,6 a 8,5

Actividad resuelta 9.2

Calcula la capacidad de un condensador si sus placas son de $0,1 \text{ m}^2$, la distancia entre placas de $0,3 \text{ mm}$ y el dieléctrico es de: **a)** aire; **b)** poliéster.

Solución:

Para un dieléctrico de aire tenemos que:

$$C = \frac{\epsilon_r}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{S}{d} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{0,1}{0,0003} = 2,95 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 2,95 \text{ nF}$$

$$0,3 \text{ mm} = 0,3/1.000 = 0,0003 \text{ m}$$

Si utilizamos como dieléctrico el poliéster obtendremos una capacidad tres veces superior, ya que $\epsilon_r = 3$.

9.3. Carga de un condensador

Con ayuda del circuito de la Figura 9.6 vamos a estudiar el proceso de carga y descarga de un condensador.

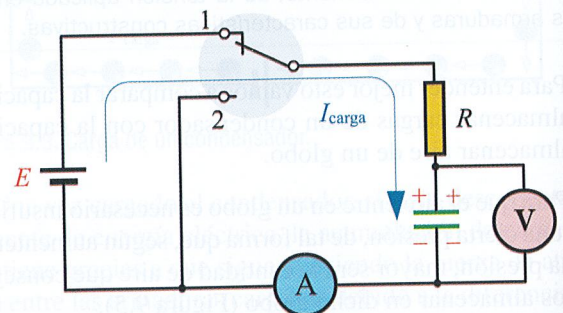


Figura 9.6. Ensayo para estudiar el proceso de carga de un condensador.

La resistencia R se ha conectado en serie con el circuito para retardar el proceso de carga (Figura 9.6). El amperímetro (A) nos indicará la intensidad de carga y el voltímetro (V) la tensión a que queda sometido el condensador en todo momento. Cuando el conmutador se posiciona en el punto (1) el condensador se pone en contacto con el generador y comienza su proceso de carga.

En el primer momento la diferencia de cargas que existe en el condensador es cero y, por tanto, al no haber nada que se oponga al establecimiento de la corriente, la intensidad que indicará el amperímetro en el primer momento de conexión será igual a:

$$i_{\text{máx}} = \frac{E}{R}$$

Según se va cargando el condensador la tensión de este irá creciendo, tal como lo podríamos comprobar con el vol-



tímetro. En consecuencia, la diferencia de potencial que existe entre el generador y el condensador se hace más pequeña y, por consiguiente, se irá reduciendo la intensidad de carga. Cuando el condensador alcanza la misma tensión que el generador se completa el ciclo de carga y la intensidad de corriente queda interrumpida.

En las curvas de carga de la Figura 9.7 se puede apreciar claramente este proceso.

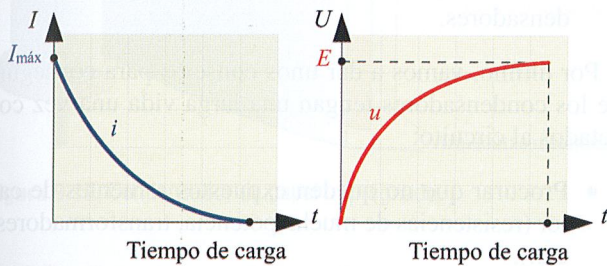


Figura 9.7. Curvas de carga de un condensador.

En conclusión, un condensador en C.C. solo deja pasar la corriente durante el corto periodo de tiempo que dura su carga. Al cabo de este tiempo actúa como un interruptor abierto.

9.4. Descarga de un condensador

Al cambiar de posición el conmutador (Figura 9.8), el condensador se descarga por la resistencia.

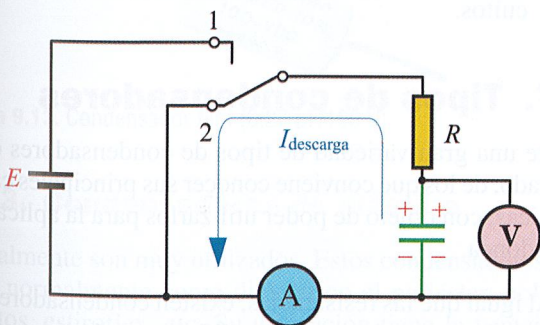


Figura 9.8. Proceso de descarga del condensador.

En un primer momento la intensidad es grande, ya que el condensador tiene toda la tensión (la misma que la del generador).

Según se va descargando el condensador, la tensión se va reduciendo y, con ella, la intensidad de la corriente.

Cuando el condensador se descarga totalmente la intensidad y la tensión se anulan, tal como se ha representado en las curvas de descarga de la Figura 9.9.

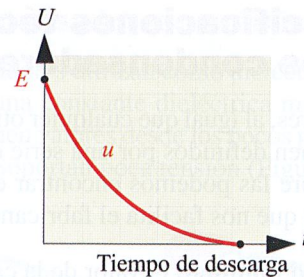


Figura 9.9. Curva de descarga de un condensador.

9.5. Constante de tiempo de carga y descarga de un condensador

Se conoce por constante de tiempo al tiempo que invierte el condensador en adquirir el 63 % de la carga total. La constante de tiempo de condensador es igual al producto $R \cdot C$.

Esta constante es igual de válida para calcular el tiempo de descarga de un condensador. En teoría, un condensador tardaría un tiempo infinito en cargarse o descargarse totalmente; en la práctica, se puede comprobar que transcurrido un tiempo igual a cinco constantes de tiempo se puede dar por terminado prácticamente el 100 % del proceso de carga o descarga del condensador.

Actividad resuelta 9.3

Determina la constante de tiempo del condensador del circuito de la Figura 9.10. Calcula también el tiempo de carga completa del condensador.

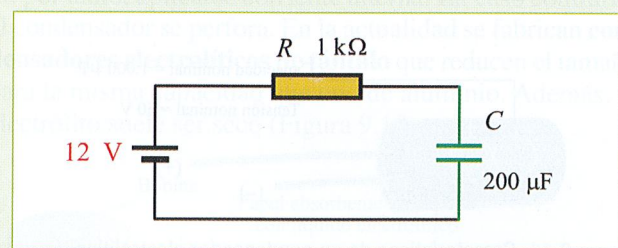


Figura 9.10.

Solución:

La constante de tiempo será igual a:

$$\tau = R \cdot C = 1.000 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 0,2 \text{ segundos}$$

El tiempo total de carga se dará para cinco constantes de tiempo:

$$t = 5 \cdot \tau = 5 \cdot 0,2 = 1 \text{ segundo}$$

9.6. Especificaciones técnicas de los condensadores

Los condensadores, al igual que cualquier otro componente electrónico, vienen definidos por una serie de características. Estas siempre las podemos encontrar en las hojas de especificaciones que nos facilita el fabricante.

- **Capacidad nominal:** el valor de la capacidad de un condensador puede cambiar con la frecuencia de trabajo (Hz) y con la temperatura ambiente, por lo que los fabricantes facilitan la capacidad junto con estos últimos parámetros.
- **Tensión de perforación del dieléctrico o tensión pico (U_p):** ¿recuerdas cómo el globo descrito anteriormente estallaba en pedazos al aumentar la presión? De igual forma, si un condensador es sometido a una tensión excesiva, el dieléctrico no podrá soportarlo y se perforará. Téngase en cuenta que las armaduras están muy próximas y un aumento de la tensión produce, a su vez, un aumento de atracción entre las cargas de ambas armaduras.

De aquí surge el concepto de **tensión de perforación**, que se define como la tensión máxima que es capaz de soportar un condensador sin que se destruya su dieléctrico.

- **Tensión de trabajo o nominal (U_n):** por supuesto, no es recomendable que la tensión a la que trabaja un condensador sea mayor que la de perforación. De aquí nace el concepto de **tensión de trabajo**, que se define como la tensión a la que puede funcionar un condensador de forma permanente sin sufrir daños. Esta tensión es la que se encuentra indicada en la superficie de los condensadores (véase un ejemplo en la Figura 9.11).

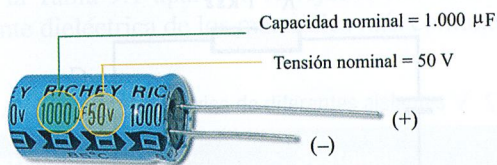


Figura 9.11. Características de un condensador electrolítico.

La tensión de trabajo de un condensador tiene una gran incidencia en las dimensiones de estos. Cuanta más tensión de trabajo posea el condensador, mayor tiene que ser el espesor del dieléctrico, lo que hace que haya que aumentar, en estos casos, la superficie de las placas para conseguir una capacidad considerable. De tal forma que podremos encontrar condensadores de baja tensión y elevada capacidad que presenten un tamaño similar al de otros de elevada tensión y pequeña capacidad.

- **Coefficiente de temperatura (T_c):** al igual que ocurría con las resistencias, la capacidad de un condensador puede variar con la temperatura. Este coeficiente puede ser positivo o negativo, aunque en la mayoría de los condensadores resulta negativo.
- **Tolerancia (%):** nos indica en tantos por ciento los valores en los que se encuentra la capacidad indicada por el fabricante. Las tolerancias más comunes son del 5, el 10 y el 20 % para todos los modelos de condensadores.

Por último, vamos a dar unos consejos para conseguir que los condensadores tengan una larga vida una vez conectados al circuito:

- Procurar que no queden expuestos a fuentes de calor (resistencias de mucha potencia, transformadores, etc.).
- Evitar dañar la envolvente del condensador, ya que de debilitarse su estanqueidad podría penetrar la humedad ambiente en el dieléctrico. Esto suele producir muchos fallos en los condensadores por perforación del dieléctrico. Dicha estanqueidad puede verse afectada simplemente al realizar una manipulación o soldadura incorrecta durante el montaje en la placa del circuito impreso.
- No someter al condensador a sobretensiones.
- No conviene almacenar los condensadores con carga.
- Para descargarlos, hacerlo siempre a través de una resistencia, evitando las descargas mediante cortocircuitos.

9.7. Tipos de condensadores

Existe una gran variedad de tipos de condensadores en el mercado, de los que conviene conocer sus principales características, con objeto de poder utilizarlos para la aplicación más idónea.

Al igual que las resistencias, existen condensadores variables a los que se les puede modificar su valor capacitivo. Estudiaremos aquí algunos de los condensadores fijos, que son los de más extendida aplicación.

9.7.1. Condensadores de papel impregnado

Se fabrican enrollando dos láminas delgadas de aluminio de unos 0,006 mm de espesor (armaduras), separadas por otras dos de un papel impregnado con cera o aceite (dieléctrico) (Figura 9.12). De esta forma se consigue aumentar la superficie de las armaduras sin aumentar excesivamente



el tamaño del condensador. La tensión de trabajo depende del espesor del papel.

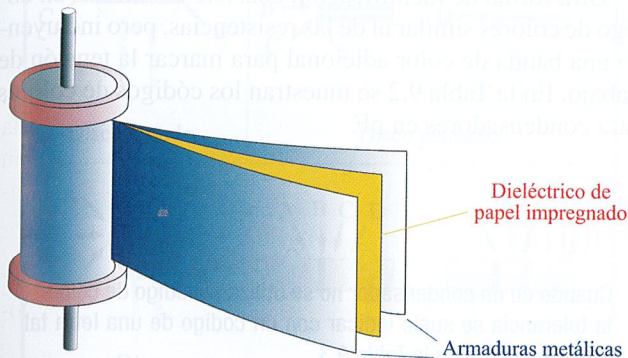


Figura 9.12. Condensador de papel impregnado.

9.7.2. Condensadores de papel metalizado

En este caso, el papel es metalizado con el fin de evitar que se formen vacíos entre las placas y el dieléctrico. De esta forma se consigue reducir su tamaño. Además poseen la propiedad de «autorregeneración» del dieléctrico después de sufrir una perforación de este. También se fabrica una versión similar de este condensador utilizando plástico en vez de papel, lo que da como resultado **condensadores de plástico metalizado (condensadores film o MK)**, que mejoran las características de los de papel (Figura 9.13).

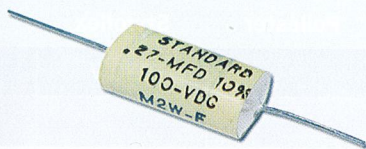


Figura 9.13. Condensador film (0,27 μF /100 V).

9.7.3. Condensadores de plástico

Actualmente son muy utilizados. Estos condensadores utilizan normalmente como dieléctrico el poliéster, policarbonatos, estiroflex, etc. Su utilización tiene la ventaja de conseguir capacidades relativamente elevadas a tensiones que lleguen hasta 1.000 V y capacidades desde un nanofaradio hasta algunos microfaradios (Figura 9.14).



Figura 9.14. Condensadores de plástico.

9.7.4. Condensadores cerámicos

Estos condensadores utilizan como dieléctrico compuestos cerámicos de una constante dieléctrica muy elevada. Con ellos se consiguen valores desde los pocos picofaradios hasta los 100 nF. Soportan poca tensión (Figura 9.15).



Figura 9.15. Condensadores cerámicos.

9.7.5. Condensadores de mica

Aprovechando la facilidad con la que se pueden fabricar láminas de mineral de mica de pequeño espesor uniforme, se pueden construir condensadores intercalando láminas de mica como dieléctrico y láminas de estaño o aluminio como placas. Se suelen emplear en circuitos de transmisión y recepción de radio (radiofrecuencia «RF»).

9.7.6. Condensadores electrolíticos de aluminio

Estos condensadores se diferencian bastante del resto por sus características constructivas. Están constituidos por una lámina de aluminio y otra de plomo sumergidas en una solución de cloruro de amonio (electrolito) (Figura 9.16).

Son condensadores con los que se consiguen capacidades elevadas en un volumen reducido (desde 1 μF hasta decenas de miles de microfaradios). Una de las características que diferencia a los condensadores electrolíticos de los demás es que tienen polaridad, es decir, no pueden invertirse las conexiones indicadas en la superficie del componente, ni, por tanto, aplicarse corriente alterna. En caso contrario, el condensador se perfora. En la actualidad se fabrican **condensadores electrolíticos de tántalo** que reducen el tamaño para la misma capacidad que uno de aluminio. Además, el electrolito suele ser seco (Figura 9.17).

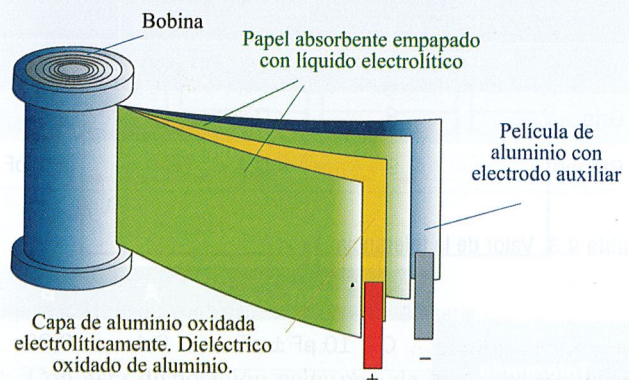


Figura 9.16. Condensador electrolítico seco.

9. LOS CONDENSADORES

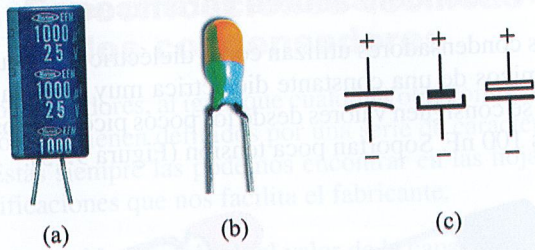


Figura 9.17. Condensadores electrolíticos: (a) de aluminio; (b) de tántalo; (c) símbolos.

9.8. Identificación de los valores de los condensadores

Por lo general, los valores de capacidad y tensión de trabajo aparecen inscritos en la superficie del condensador.

Cuando se trata de valores de capacidad con decimales no se marca la coma, sino que en su lugar se pone la letra *p* (pico) o *n* (nano). Así, por ejemplo, un condensador de 3,9 nF se puede identificar como 3n9 y uno de 0,56 pF como p56.

En otras ocasiones se marca solo la letra K, que significa mil picofaradios, es decir, 1 nF.

Por ejemplo, un condensador de 100 K se identifica como 100 nF.

Otra forma de identificación consiste en utilizar un código de colores similar al de las resistencias, pero incluyendo una banda de color adicional para marcar la tensión de trabajo. En la Tabla 9.2 se muestran los códigos de colores para condensadores en pF.



NOTA

Cuando en un condensador no se utiliza el código de colores, la tolerancia se suele indicar con un código de una letra tal como se indica en la Tabla 9.3.

Así, por ejemplo, si encontramos un condensador con la indicación 100 J, nos indicará una capacidad de 100 pF y una tolerancia del 5 %.

Seguidamente incluimos para los diferentes tipos de condensadores el significado de cada banda de color. La banda marcada con la letra F nos indica el coeficiente de temperatura del condensador.

Tabla 9.2. Código de colores para condensadores

Color	A-B Cifras significativas	C Multiplicador	D Tolerancia		E Tensión		
			C < 10 pF	C > 10 pF	Poliéster	Styroflex	Tántalo
Negro	0	× 1	± 1 pF	± 20 %		630 V	10 V
Marrón	1	× 10	± 0,1 pF	± 1 %			
Rojo	2	× 100	± 0,25 pF	± 2 %	250 V	160 V	4 V
Naranja	3	× 1.000		± 3 %			40 V
Amarillo	4	× 10.000			400 V	63 V	6,3 V
Verde	5	× 100.000	± 0,5 pF	± 5 %			18 V
Azul	6	× 1.000.000			630 V	25 V	
Violeta	7	× 10.000.000					
Gris	8	× 0,01					25 V
Blanco	9	× 0,1	± 1 pF	± 10 %			2,5 V

Tabla 9.3. Valor de la tolerancia

Tolerancia	Letra	A	B	D	F	G	H	J	K	M
	C < 10 pF ± pF		0,1	0,25	0,5	1	2	—	—	—
C > 10 pF ± %		—	—	5,5	1	2	2,5	5	10	20

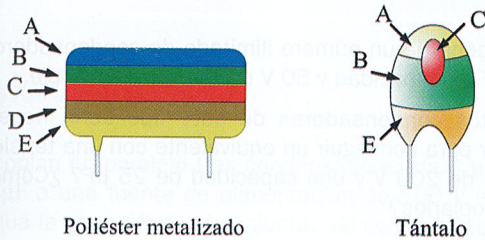
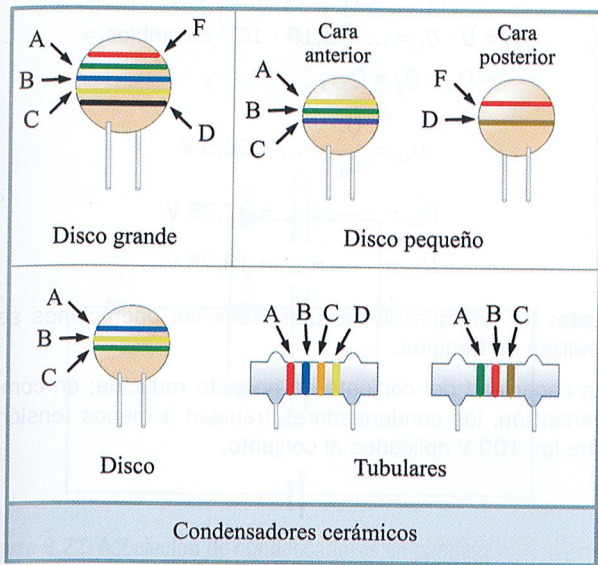


Figura 9.18. Códigos para diferentes tipos de condensadores.

Actividad resuelta 9.5

¿Cuáles son las características del condensador de tantaló de la Figura 9.20?

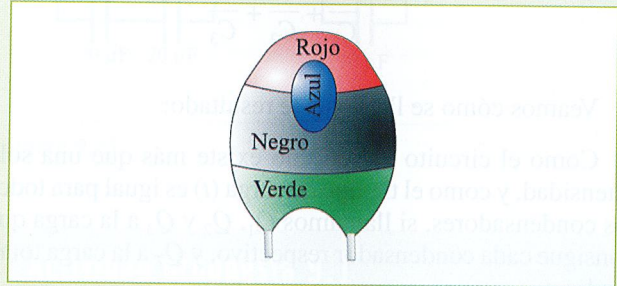


Figura 9.20.

Solución:

Seguimos la disposición de las cifras según la Figura 9.20.

(A) (B) (C)
 Rojo (2) - Negro (0) - Azul ($\times 1.000.000$)
 $20 \cdot 1.000.000 = 20.000.000 \text{ pF} = 20 \mu\text{F}$
 (E)
 Tensión nominal = (Verde) = 18 V

Actividad resuelta 9.4

Determina las características del condensador de poliéster metalizado que aparece en la Figura 9.19.



Figura 9.19.

Solución:

Situamos las cifras que van asociadas a los colores en el orden en que estos aparecen inscritos.

(A) (B) (C) (D) (E)
 Amarillo - Azul - Rojo - Blanco - Rojo
 (4) (6) ($\times 100$) ($\pm 10\%$) (250 V)
 $46 \cdot 100 = 4.600 \text{ pF} = 4,6 \text{ nF}, \pm 10\%, 250 \text{ V}$

9.9. Asociación de condensadores

En el caso de que un condensador no disponga de la capacidad o tensión de trabajo adecuada para nuestras necesidades, se pueden acoplar entre sí en serie o paralelo y así conseguir las características deseadas.

9.9.1. Asociación de condensadores en serie

La tensión aplicada al conjunto se reparte entre los terminales de cada uno de los condensadores (Figura 9.21), de tal forma que se cumple la relación: $U = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$.

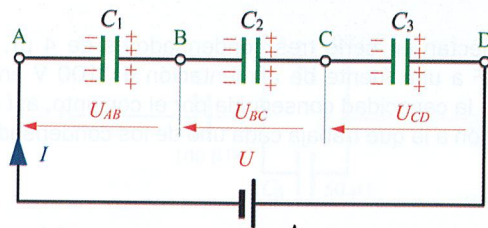


Figura 9.21. Asociación de condensadores en serie.

Con esta disposición cada uno de los condensadores trabaja a una tensión más baja que la aplicada al conjunto

9. LOS CONDENSADORES

de aquellos. Sin embargo, la capacidad total obtenida es inferior a la de cualquiera de ellos. Se cumple que:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

Veamos cómo se llega a este resultado:

Como el circuito es serie no existe más que una sola intensidad, y como el tiempo de carga (t) es igual para todos los condensadores, si llamamos Q_1 , Q_2 y Q_3 a la carga que consigue cada condensador respectivo, y Q_T a la carga total, tendremos que:

$$I = \frac{Q_1}{t} = \frac{Q_2}{t} = \frac{Q_3}{t} = \frac{Q_T}{t}$$

de lo que se deduce que $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_T$.

Por otro lado, tenemos que $Q = U \cdot C$; despejando U , tenemos que:

$$U_{AB} = \frac{Q_1}{C_1}, \quad U_{BC} = \frac{Q_2}{C_2}, \quad U_{CD} = \frac{Q_3}{C_3}, \quad U = \frac{Q_T}{C_T}$$

Sustituyendo estos términos en la expresión de las tensiones:

$$U = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$

tenemos que:

$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3}$$

Como las cargas son iguales:

$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \Rightarrow \frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

De lo que se deduce la expresión de la capacidad total o equivalente C_T indicada al principio.

Actividad resuelta 9.6

Se conectan en serie tres condensadores de $4 \mu\text{F}$, $8 \mu\text{F}$ y $12 \mu\text{F}$ a una fuente de alimentación de 100 V en C.C. Calcula la capacidad conseguida por el conjunto, así como la tensión a la que trabaja cada uno de los condensadores.

Solución:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} = \dots = 2,18 \mu\text{F}$$

$$Q_T = U \cdot C_T = \dots = 2,18 \cdot 10^{-4} \text{ culombios} = \\ = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$U_{AB} = \frac{Q_1}{C_1} = \dots = 54,5 \text{ V}$$

$$U_{BC} = \dots = 27,25 \text{ V}$$

$$U_{CD} = \dots = 18,25 \text{ V}$$

Nota: No hay que olvidar que todas las operaciones se realizan en faradios.

La capacidad del conjunto se ha visto reducida; en compensación, los condensadores trabajan a menos tensión que los 100 V aplicados al conjunto.

Actividad resuelta 9.7

Se dispone de un número ilimitado de condensadores de $100 \mu\text{F}$ de capacidad y 50 V de tensión de trabajo.

¿Cuántos condensadores de este tipo sería necesario acoplar para conseguir un equivalente con una tensión de trabajo de 200 V y una capacidad de $25 \mu\text{F}$? ¿Cómo hay que acoplarlos?

Solución:

Al acoplar cuatro condensadores de $100 \mu\text{F}$ en serie se consigue una capacidad equivalente igual a:

$$C_T = \frac{100}{4} = 25 \mu\text{F}$$

Al ser iguales los condensadores la tensión se reparte por igual en cada condensador:

$$U = \frac{200}{4} = 50 \text{ V}$$

Con esta solución hemos conseguido conectar a una tensión de 200 V condensadores que solo soportan 50 V . Por supuesto se ha hecho a costa de reducir la capacidad de $100 \mu\text{F}$ a $25 \mu\text{F}$.

9.9.2. Asociación en paralelo

En este acoplamiento, la tensión a la que quedan sometidos todos los condensadores es la misma y coincide con la aplicada al conjunto (Figura 9.22).

La capacidad aumenta cuando se les conecta en paralelo. Se cumple que:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

de lo que se deduce que:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$



$$U_{C_T} = U_{C_1} + U_{C_2} + U_{C_3}$$

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

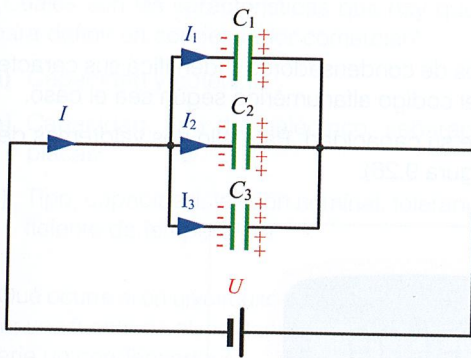


Figura 9.22. Asociación de condensadores en paralelo.

Actividad resuelta 9.8

Se acoplan en paralelo tres condensadores de $4 \mu\text{F}$, $8 \mu\text{F}$ y $12 \mu\text{F}$ a una fuente de alimentación de 100 V en C.C. Averigua la capacidad del conjunto, así como la tensión a la que trabajan los condensadores.

Solución:

La capacidad total conseguida es:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = \dots = 24 \mu\text{F}$$

La tensión de trabajo de los condensadores es igual para todos: 100 V .

Con este montaje hemos conseguido aumentar la capacidad mientras que la tensión de trabajo permanece invariable.

Actividad resuelta 9.9

Determina cuántos condensadores de $20 \mu\text{F}$ de capacidad y 5 V de tensión de trabajo hay que conectar para conseguir un equivalente de $20 \mu\text{F}/10 \text{ V}$.

Solución:

Al conectar dos condensadores en serie se consigue aumentar la tensión hasta 10 V a costa de reducir la capacidad a $10 \mu\text{F}$. Si ahora conectamos otra rama de dos condensadores en serie que, a su vez, estén conectados en paralelo con la otra rama conseguiremos aumentar la capacidad hasta los $20 \mu\text{F}$ sin modificar la tensión, tal como se indica en la Figura 9.23.

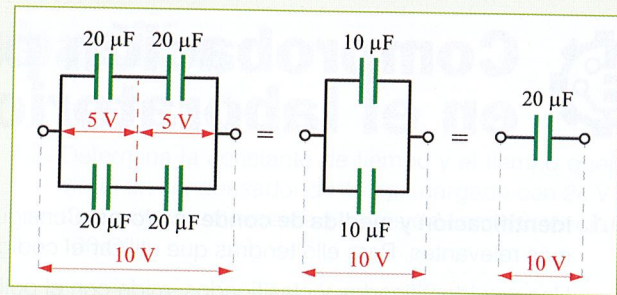


Figura 9.23.

Actividad propuesta 9.1

Un condensador de $100 \mu\text{F}$ se carga con una tensión de 10 V (posición del conmutador en 1, Figura 9.24). Posteriormente se conectan sus armaduras a las de otro condensador de $50 \mu\text{F}$ (posición del conmutador en 2) que se encuentra totalmente descargado. Averigua cuál será la tensión a la que quedan sometidos los dos condensadores una vez que el primer condensador se haya descargado sobre el segundo y la carga eléctrica almacenada en cada uno de ellos.

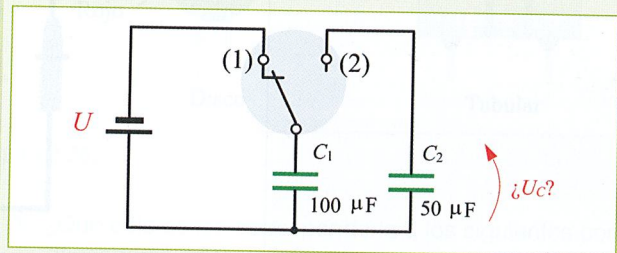


Figura 9.24.



La solución a esta Actividad propuesta la puedes encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto.

Actividad propuesta 9.2

Calcula la capacidad equivalente y la tensión a la que queda sometido cada condensador del circuito de la Figura 9.25.

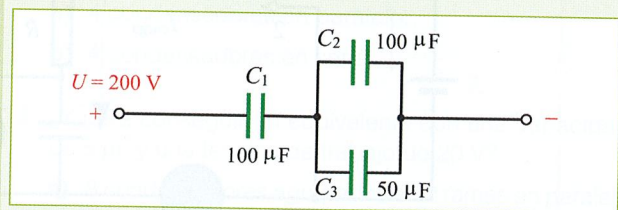


Figura 9.25.



La solución a esta Actividad propuesta la puedes encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto.

Comprobación práctica en el laboratorio

- 9.1. Identificación y medida de condensadores.** Consigue diferentes tipos de condensadores e identifica sus características más relevantes. Para ello tendrás que utilizar el código de colores o el código alfanumérico según sea el caso. Una vez identificados y clasificados, mide con el polímetro el valor de su capacidad. Para ello nos valdremos de los terminales de conexión (Cx) que dispone nuestro polímetro (véase la Figura 9.26).

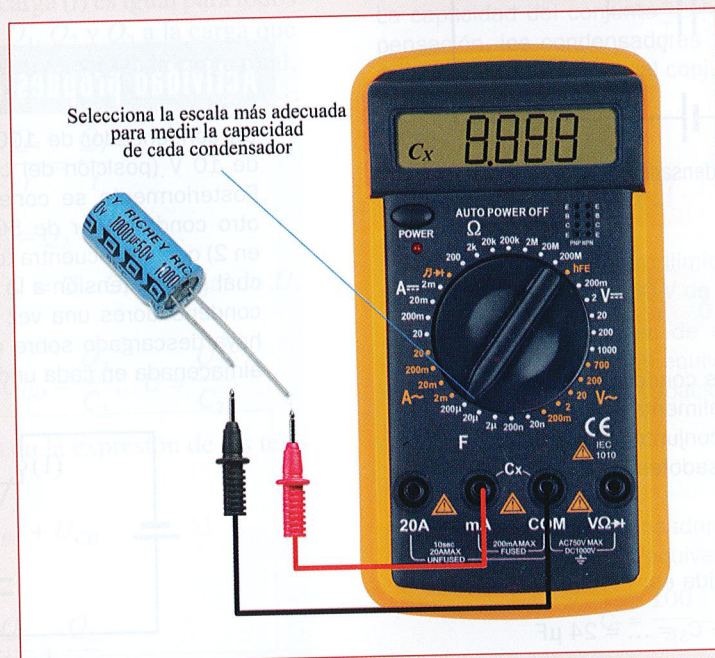


Figura 9.26. Medida de capacidad de condensadores.

- 9.2. Carga y descarga de un condensador.** Conecta un condensador de gran capacidad con una resistencia en serie, tal como se indica en el circuito de la Figura 9.27, y mediante un voltímetro y un amperímetro comprueba cómo evolucionan la tensión y la corriente en el proceso de carga y descarga del condensador. Calcula el valor teórico de la constante de carga y comprueba experimentalmente si se cumple dicha relación.

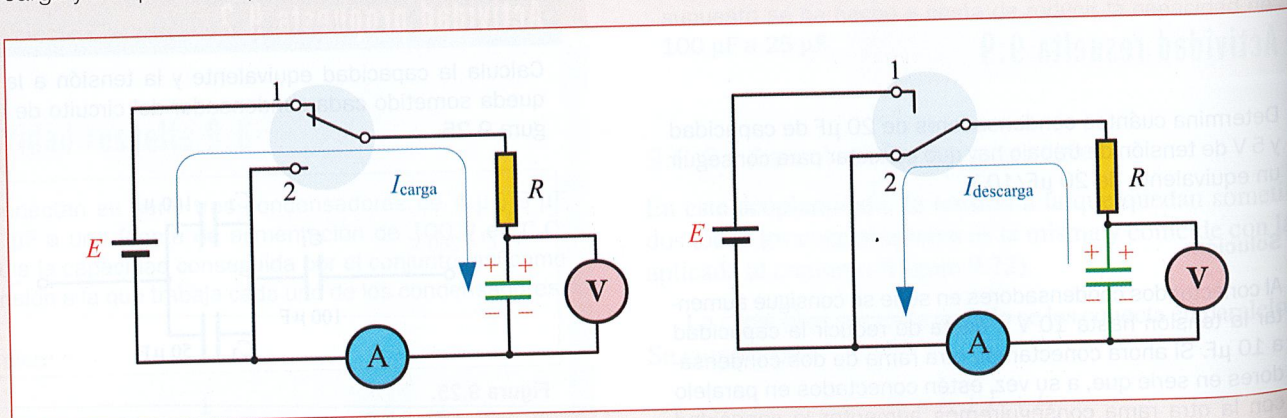


Figura 9.27. Carga y descarga de un condensador.



Actividades de comprobación

- 9.1.** ¿Cuáles son las características que hay que conocer para definir un condensador comercial?
- Capacidad y potencia.
 - Capacidad, tipo de dieléctrico, separación entre placas.
 - Tipo, capacidad, tensión nominal, tolerancia y coeficiente de temperatura.
- 9.2.** ¿Qué ocurre si en un circuito de una lámpara alimentada por una fuente de alimentación de C.C. intercalamos en serie un condensador?
- La lámpara se enciende durante un pequeño tiempo y luego se apaga totalmente.
 - La lámpara se enciende normalmente.
 - La lámpara se enciende y se apaga constantemente.
- 9.3.** ¿Qué ventajas conlleva el uso de condensadores electrolíticos?
- Soportan tensiones de trabajo fuertes.
 - Se consiguen altas capacidades y se pueden emplear en C.A.
 - Se consiguen altas capacidades.
- 9.4.** ¿Qué ventajas aporta la conexión de condensadores en serie?
- Se aumenta la capacidad del conjunto de condensadores acoplados.
 - Se consigue aumentar la tensión de trabajo del conjunto de condensadores acoplados.
 - Se aumenta la tensión y la capacidad.
- 9.5.** ¿Qué puede ocurrir cuando se supera la tensión de trabajo de un condensador?
- El condensador se calienta.
 - El condensador cambia la capacidad nominal.
 - El condensador se puede perforar y destruir.
- 9.6.** Calcula la carga eléctrica que almacena un condensador de $1.000 \mu\text{F}$ cuando es sometido a las siguientes tensiones: 4 V, 20 V y 100 V, respectivamente.
- 9.7.** ¿Qué espesor deberá tener el dieléctrico de un condensador plano de porcelana ($\epsilon = 5,5$) para conseguir una capacidad de 1 nF, si posee unas armaduras con unas dimensiones de $50 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$?

- 9.8.** Determina la constante de tiempo y el tiempo que invierte un condensador de $100 \mu\text{F}$ cargado con 24 V en descargarse totalmente a través de una resistencia de 100Ω .
- 9.9.** Determina las características de los condensadores de poliéster metalizado que aparecen con los colores:
- C_1 : (rojo, violeta, naranja, verde, azul).
 C_2 : (marrón, rojo, naranja, marrón, rojo).
 C_3 : (rojo, verde, rojo, blanco, amarillo).
- 9.10.** Determina las características de los condensadores de cerámica que aparecen en la Figura 9.28.

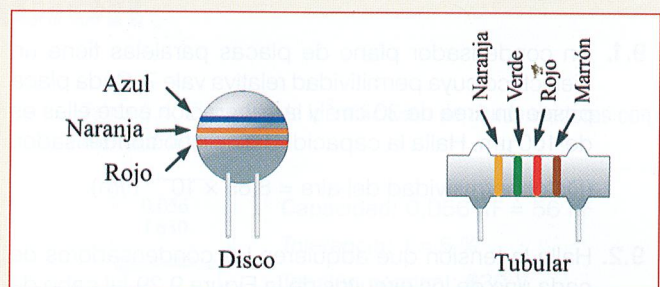


Figura 9.28.

- 9.11.** ¿Qué colores les correspondería a los siguientes condensadores de tantalio?
- $C_1 = 3,3 \mu\text{F}/10 \text{ V}$
 $C_2 = 57 \mu\text{F}/25 \text{ V}$
 $C_3 = 150 \mu\text{F}/4 \text{ V}$
- 9.12.** Se dispone de un número ilimitado de condensadores de $10 \mu\text{F}$ de capacidad y 5 V de tensión de trabajo. ¿Cuántos condensadores de este tipo sería necesario acoplar para conseguir un equivalente con una tensión de trabajo de 20 V y una capacidad de $2,5 \mu\text{F}$? ¿Cómo hay que acoplarlos?
- 4 condensadores en paralelo.
 - 4 condensadores en serie.
- 9.13.** ¿Y para conseguir un equivalente con una capacidad de $5 \mu\text{F}$ y una tensión de trabajo de 20 V?
- 8 condensadores agrupados en 2 ramas en paralelo consistentes en 4 condensadores conectados en serie.
 - 16 condensadores agrupados en 4 ramas de 4 condensadores en serie. Las ramas se conectan en paralelo.

9.14. ¿Y para conseguir un equivalente con la misma capacidad ($10 \mu\text{F}$) y una tensión de trabajo de 15 V?

- a) 9 condensadores agrupados en 3 ramas de 3 condensadores en serie. Las ramas se conectan entre sí en serie.
- b) 9 condensadores agrupados en 3 ramas de 3 condensadores en serie. Las ramas se conectan entre sí en paralelo.

9.15. Se conectan en serie un condensador de $6 \mu\text{F}$ con otro de $3 \mu\text{F}$ a una tensión de 100 V. Calcula la capacidad y la carga del conjunto formado, así como la carga y tensión de cada condensador.

9.16. Se conectan en paralelo un condensador de $5 \mu\text{F}$ con uno de $15 \mu\text{F}$ a una tensión de 100 V. Calcula la capacidad y la carga del conjunto formado, así como la carga de cada condensador.

Actividades de evaluación resueltas



A continuación se dan los enunciados de una serie de actividades de evaluación. Estas actividades las podrás encontrar resueltas accediendo al MATERIAL WEB creado para este texto.

9.1. Un condensador plano de placas paralelas tiene un dieléctrico cuya permitividad relativa vale 7. Cada placa posee un área de 30 cm^2 y la separación entre ellas es de $100 \mu\text{m}$. Halla la capacidad de dicho condensador.

(Dato: permitividad del aire = $8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$).

9.2. Halla la tensión que adquieren los condensadores de cada uno de los circuitos de la Figura 9.29, al cabo de un tiempo suficientemente grande, una vez cargados, después de cerrado el interruptor s.

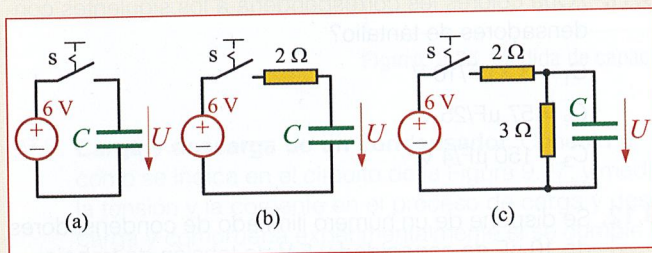


Figura 9.29.

9.3. Los condensadores mostrados en la Figura 9.30 tienen todos la misma forma y dimensiones geométricas. El condensador C_3 tiene un aislante de poliéster de constante dieléctrica relativa 3,3 y una capacidad de $1 \mu\text{F}$. Los condensadores C_1 y C_2 tienen un aislante de porcelana de constante dieléctrica relativa 6,6.

Halla:

- a) La capacidad de los condensadores C_1 y C_2 .
- b) La capacidad total de la asociación de condensadores conectada a la fuente de tensión.
- c) Si la tensión de la fuente de tensión continua vale 12 V, ¿cuál es la carga de cada condensador?

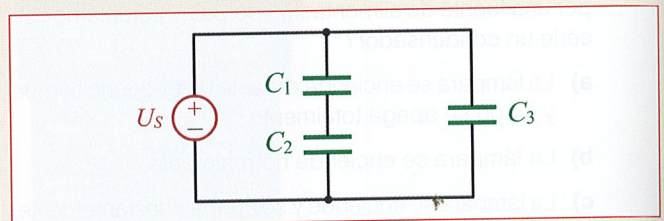


Figura 9.30.

9.4. La red de la Figura 9.31 se halla en régimen permanente de corriente continua. Los parámetros de los elementos pasivos valen: $R = 100 \Omega$, $C_1 = 4 \mu\text{F}$, $C_2 = 15 \mu\text{F}$, $C_3 = 10 \mu\text{F}$, y el amperímetro indica una lectura de 10 A. Determina:

- a) La f. e. m E de la fuente de tensión.
- b) La energía almacenada por el condensador C_1 .
- c) La carga y tensión de los condensadores C_2 y C_3 .

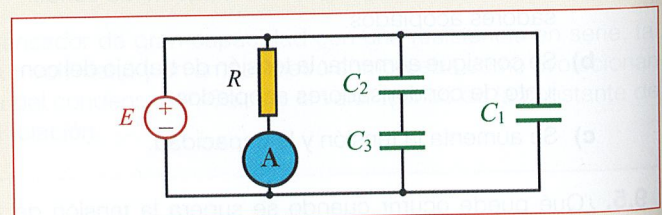


Figura 9.31.

9.5. En la Figura 9.32 se muestra el circuito de retardo RC para un temporizador. Calcula el valor al que habrá que ajustar la resistencia R para conseguir un tiempo de retardo ($t = 5 \cdot \tau$) de 1 minuto.

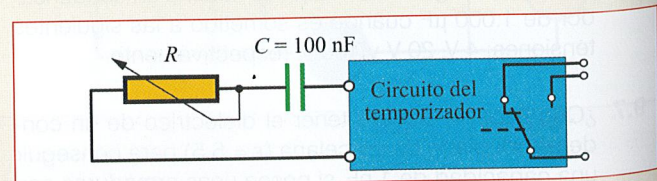


Figura 9.32.



9.6. ¿Cuáles tendrían que ser las dimensiones cuadradas de las armaduras de un condensador con dieléctrico de aire y una separación entre las mismas de 1 mm, para conseguir una capacidad de 1 F.

9.7. Sabiendo que la energía E que almacena en julios un condensador de capacidad C cuando es cargado con una tensión U se puede calcular con la siguiente expresión:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

Calcula la energía almacenada en un condensador de 2.000 μF si se le conecta a una fuente de tensión continua de 100 V.

9.8. Se desea fabricar un condensador con dieléctrico de porcelana con una constante dieléctrica relativa de 5 y una rigidez dieléctrica de 10 kV/mm. Las dimensiones de las placas son de 100 mm de largo por 10 mm de ancho. Calcula la capacidad y tensión de perforación del condensador en los siguientes casos:

- a) Separación de las armaduras de 0,001 mm.
- b) Separación de las armaduras de 0,01 mm.

Actividades de ampliación



9.1. Con el fin de conseguir una mayor profundización en la materia, se han incluido los enunciados de una serie de «**actividades de evaluación propuestas de ampliación (9)**» para esta unidad que podrás encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto. Selecciona alguna de estas actividades y encuentra su solución.

9.2. Busca en el MATERIAL WEB el documento con el nombre «**Ejemplos prácticos de identificación de condensadores**». Aquí podrás encontrar multitud de casos prácticos de identificación de condensadores que te ayudarán a entender mejor esta difícil tarea.

9.3. Identifica las características de los condensadores con marcado alfanumérico de la Tabla 9.4.

Para ello se han seguido los siguientes criterios:

Si la cifra aparece inscrita con una coma decimal, y no figura ninguna unidad, la capacidad vendrá expresada en microfaradios (μF).

Si en la cifra no aparece ni coma decimal ni unidad, la capacidad vendrá expresada en picofaradios (pF).

Si en la cifra se puede leer la unidad ($n = \text{nF}$; $p = \text{pF}$; $\mu = \mu\text{F}$; $K = \text{nF}$) esta letra hace las veces de coma decimal.

Para condensadores cerámicos, la cifra podría estar compuesta por tres dígitos. La última cifra nos indica el multiplicador (número de ceros después de las dos primeras cifras). El resultado se expresa en picofaradios (pF).

Los valores de tolerancia son los que figuran en la Tabla 9.5.

Tabla 9.4. Ejemplos de identificación de condensadores con marcado alfanumérico

	Capacidad: 0,056 μF = 56 nF Tolerancia: J = 5 % Tensión nominal: 630 V
	Capacidad: 0,1 μF Tolerancia: K = 10 % Tensión nominal: 250 V
	Cerámico con tres cifras Capacidad: $50 \cdot 10^3 = 50.000 \text{ pF} = 50 \text{ nF}$
	Capacidad: 48 pF Tolerancia: J = 5 %
	Capacidad: 0,53 nF Tolerancia: J = 5 % Tensión nominal: 250 V
	Capacidad: 48 K = 48 nF Tensión nominal: 250 V

Tabla 9.5. Valor de la tolerancia

	Letra	A	B	D	F	G	H	J	K	M
Tolerancia	C < 10 pF ± pF	0,1	0,25	0,5	1	2	—	—	—	—
	C > 10 pF ± %	—	—	5,5	1	2	2,5	5	10	20

9.4. Busca en internet el significado del código JIS para condensadores y descubre sus aspectos más significativos. A continuación, busca en el almacén de componentes del laboratorio de Electrotecnia condensadores que vengan marcados con este tipo de código, y averigua su capacidad, tensión de trabajo y tolerancia.

Seguidamente se expone un resumen sobre el código JIS.

El **código JIS (Japan Industrial Standard)** es el código utilizado por la industria japonesa para la identificación de condensadores (Figura 9.33).

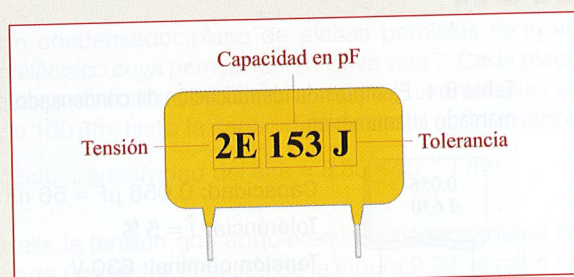


Figura 9.33. Código alfanumérico JIS.

El código es alfanumérico (letras y números) y se lee de la siguiente manera:

- El primer número y la primera letra se refieren a la tensión máxima de operación del condensador (Tabla 9.6).

Tabla 9.6. Tensión máxima. Código JIS

1H = 50 V
2A = 100 V
2T = 150 V
2D = 200 V
2E = 250 V
2G = 400 V
2J = 630 V

- Los tres números que siguen indican el valor de la capacidad del condensador en picofaradios (pF). Los dos primeros números son las cifras significativas y el tercero es el multiplicador decimal.
- La última letra indica la tolerancia (Tabla 9.7).

Tabla 9.7. Tolerancia. Código JIS

B	+/- 0,10pF
C	+/- 0,25pF
D	+/- 0,50pF
E	+/- 0,5 %
F	+/- 1 %
G	+/- 2 %
H	+/- 3 %
J	+/- 5 %
K	+/- 10 %
M	+/- 0,25pF

Ejemplos:

a) 2E 153 J

Tensión: **(2E)** 250 V

Capacidad: **(153)**: $15 \times 10^3 \text{ pF} = 15.000 \text{ pF} = 15 \text{ nF}$

Tolerancia: **(J)** +/- 5%

b) 1H 522 K

Tensión: **(1H)** 50 V

Capacidad: **(522)** $52 \times 10^2 \text{ pF} = 5.200 \text{ pF}$

Tolerancia: **(K)** +/- 10%