

4.1 Rigidez dieléctrica

Una de las características de los aislantes es que su **resistividad** ha de ser muy alta, para poder ofrecer una resistencia muy elevada y no dejar circular la corriente eléctrica a través de él.

La **rigidez dieléctrica** (R_d) es la relación entre la tensión máxima que puede soportar el aislante sin perforarse y su espesor.

$$R_d = \frac{V}{e}$$

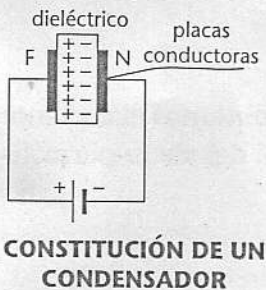
R_d Rigidez dieléctrica, en kV/mm

V Tensión, en kV

e Espesor, en mm

Esto quiere decir que si cogemos un aislante, lo colocamos entre dos placas conductoras y lo sometemos a una tensión elevada, pero que se pueda regular, observaremos que al principio, a medida que aumenta la tensión, el aislante no deja circular el paso de la corriente. Si continuamos subiendo la tensión, llega un momento en que salta un arco entre las dos placas conductoras; esto quiere decir que el aislante se ha perforado, y a partir de este momento ya no nos sirve para la finalidad con que se ha construido.

Fig. 2.26



CONSTITUCIÓN DE UN
CONDENSADOR

5. Condensadores

El condensador es un componente que permite acumular y descargar una corriente eléctrica en un intervalo de tiempo muy pequeño. Esta característica lo hace muy importante en el campo de la electricidad y de la electrónica. Según el circuito que diseñemos, también podemos modificar el tiempo de carga y descarga del condensador.

Un **condensador** está formado por dos o más placas conductoras, denominadas **armaduras**, separadas por un material aislante, denominado **dieléctrico**. En la figura 2.26, podemos ver un condensador plano.

5.1 Capacidad de un condensador

Se denomina **capacidad** de un condensador la propiedad que tiene para almacenar más o menos carga eléctrica. La carga eléctrica que puede almacenar un condensador depende de la tensión aplicada entre sus armaduras y de sus características constructivas. La capacidad del condensador viene dada por el cociente entre la carga de una de las armaduras y la tensión aplicada entre ellas.

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

C Capacidad del condensador, en faradios (F)

Q Carga eléctrica almacenada, en coulombs (C)

V Diferencia de potencia entre las armaduras, en voltios (V)

La unidad de la capacidad eléctrica de un condensador es el faradio (F). Esta unidad es muy grande y se acostumbra a utilizar los submúltiplos.

1 mF (milifaradio)	10^{-3} F
1 μ F (microfaradio)	10^{-6} F
1 nF (nanofaradio)	10^{-9} F
1 pF (picofaradio)	10^{-12} F

Antes hemos dicho que la capacidad del condensador depende de sus características constructivas. Su capacidad será más grande si la superficie de las armaduras es más grande, ya que si aumentamos la superficie de las cargas enfrentadas aumentamos también la carga.

Otro parámetro es la **distancia entre las armaduras**, que al crecer hace menguar la capacidad del condensador.

Finalmente, la capacidad también variará según la materia aislante que se introduce entre las armaduras. Este factor se denomina **constante dieléctrica o permitividad (ϵ)**.

Así, pues, la capacidad de un condensador plano estará determinada por la ecuación:

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

C Capacidad del condensador plano, en faradios (F)

ϵ Permitividad del dieléctrico, en F/m

S Superficie enfrentada de las armaduras, en m^2

d Grueso del dieléctrico, en m

La permitividad del vacío se representa ϵ_0 . Denominamos el cociente entre la permitividad de un dieléctrico y la permitividad del vacío **permitividad relativa ϵ_r** .

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

ϵ_r Permitividad relativa

ϵ Permitividad del dieléctrico, en F/m

ϵ_0 Permitividad del vacío, $\epsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-12}$ F/m

La permitividad relativa de los dieléctricos tiene una mucha importancia en la construcción de los condensadores, ya que también puede utilizarse la ecuación:

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

C Capacidad del condensador con el dieléctrico utilizado

C_0 Capacidad del mismo condensador usando el vacío como dieléctrico

Tabla de permitividades	
material	ϵ_r
vacío	1
aire	1,006
papel	2-2,8
mica	4
madera	2,5-8
poliéster	3

5.2 Código de colores en los condensadores

Como en el caso de los resistores, muchos condensadores no incorporan inscritas sus características principales, pero sí que las indican por medio de una serie de franjas de color. En la tabla podemos ver algunos ejemplos.

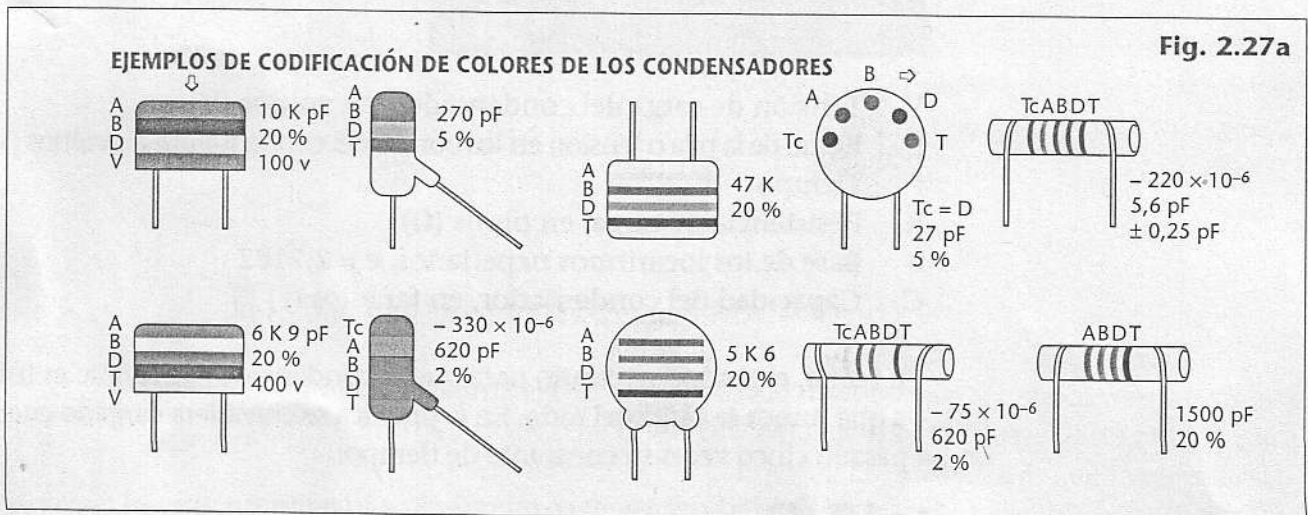
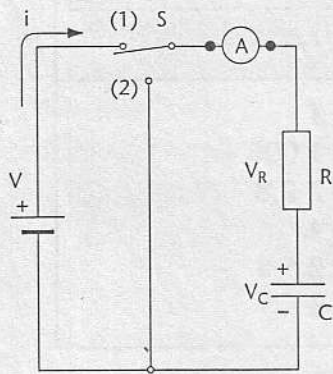


Fig. 2.27b

CÓDIGO DE COLORES PARA CONDENSADORES

	A	B	C	D	T	TC	V
	1ª cifra	2ª cifra	3ª cifra	Multiplicador	Tolerancia	Coef. de temperatura	Tensión
Negro	0	0	0	$\times 1 \text{ pF}$	$\pm 20 \%$	0	100 V
Marrón	1	1	1	$\times 10$	$\pm 10 \%$	-33×10^{-6}	250 V
Rojo	2	2	2	$\times 100$	$\pm 5 \%$	-75×10^{-6}	400 V
Naranja	3	3	3	$\times 1\,000$	$\pm 2 \%$	-150×10^{-6}	630 V
Amarillo	4	4	4	$\times 10\,000$	$\pm 1 \%$	-220×10^{-6}	
Verde	5	5	5	$\times 100\,000$	$\pm 1 \text{ pF}$	-330×10^{-6}	
Azul	6	6	6	$\times 1\,000\,000$	$\pm 0,5 \text{ pF}$	470×10^{-6}	
Violeta	7	7	7	$\div \times 0,1 \text{ pF}$	$\pm 0,25 \text{ pF}$	750×10^{-6}	
Gris	8	8	8	$\div \times 0,01 \text{ pF}$	$\pm 0,1 \text{ pF}$	$150 + 1500 \times 10^{-6}$	
Blanco	9	9	9			$100 + 1500 \times 10^{-6}$	

Fig. 2.28



CIRCUITO DE CARGA Y DESCARGA DE UN CONDENSADOR

5.3 Carga y descarga de un condensador

Para explicar el proceso de carga y descarga de un condensador, nos basaremos en el circuito de la figura 2.28.

En la primera posición del conmutador, el condensador está conectado al generador y comienza el proceso de carga. En este momento, la diferencia de cargas en el condensador es cero, y la intensidad que nos indicará el amperímetro será:

$$I_0 = \frac{V}{R}$$

A medida que el condensador se va cargando, la tensión irá aumentando; por tanto, la intensidad disminuirá. Cuando la tensión del condensador es igual a la del generador, la carga del condensador finaliza y la intensidad es cero. La expresión que nos relaciona la tensión de carga de un condensador es la siguiente:

$$V_c = E (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

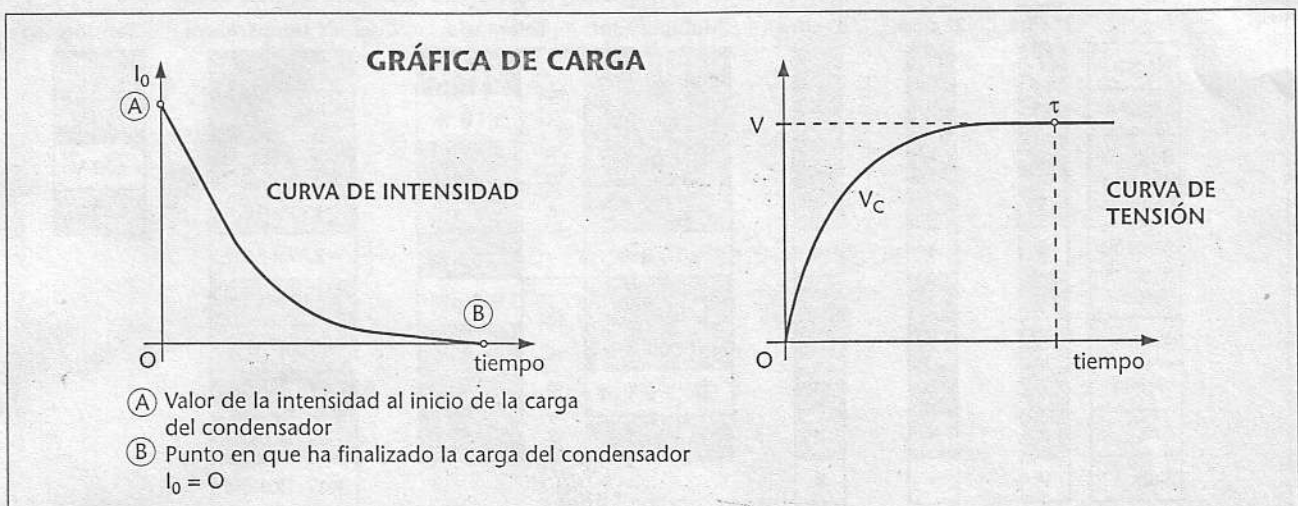
- V_c Tensión de carga del condensador, en voltios (V)
- E F.e.m. de la pila o tensión en los bornes del condensador, en voltios (V)
- t Tiempo
- R Resistencia de carga, en ohms (Ω)
- e Base de los logaritmos neperianos, $e = 2,7182$
- C Capacidad del condensador, en faradios (F)

En teoría, el tiempo necesario para que el condensador se cargue es infinito, ya que nunca se carga del todo. En la práctica se considera cargado cuando ha pasado cinco veces su constante de tiempo:

$$t = 5 (R \cdot C)$$

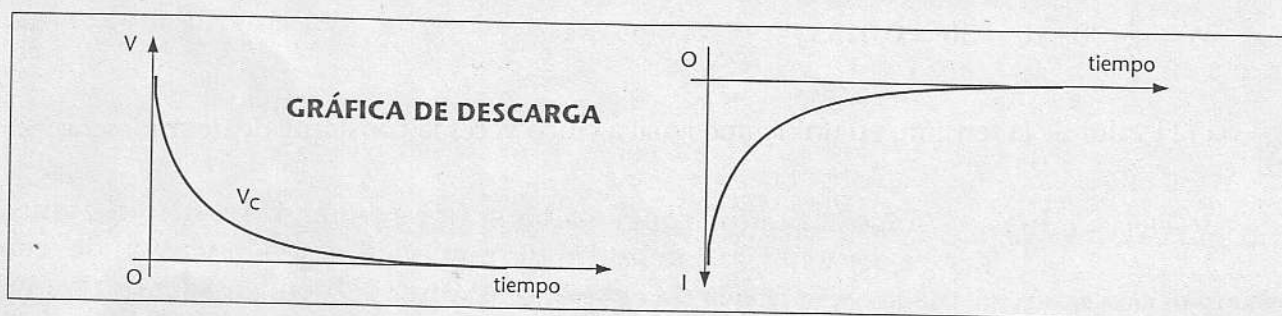
El producto $R \cdot C$ se denomina constante de tiempo (τ) del condensador.

Fig. 2.29



En la segunda posición del conmutador, al principio la intensidad es elevada, ya que el condensador está cargado y entre sus extremos está toda la tensión. A medida que el condensador se carga, la intensidad va disminuyendo hasta que el condensador se cargue totalmente.

Fig. 2.30



En el proceso de carga de un condensador, éste almacena una cantidad de energía que después cede en el proceso de descarga.

El valor de la energía acumulada en un condensador es:

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

W Energía acumulada en el condensador, en joules (J)

C Capacidad del condensador, en faradios (F)

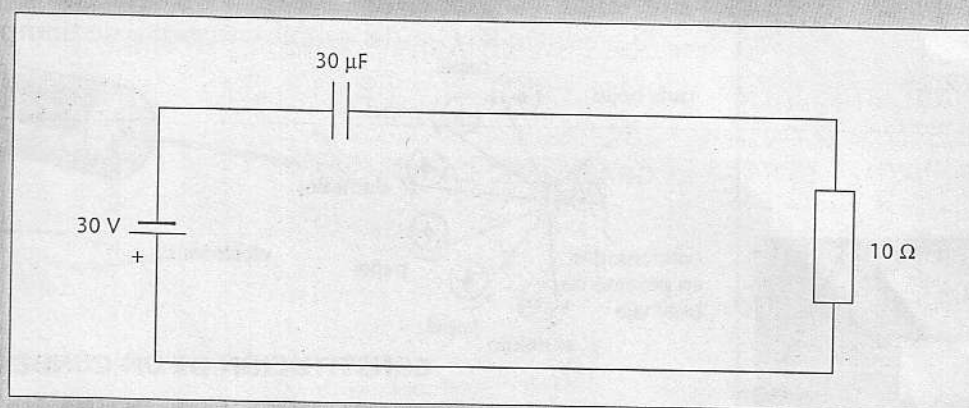
V Tensión aplicada en el condensador, en voltios (V)

Ejemplo

7. En el circuito de la figura, determina:

- La carga total acumulada en el condensador.
- La energía almacenada en el condensador.
- El valor de la tensión en el condensador transcurrido un tiempo igual a cinco veces la constante de tiempo.

Fig. 2.31



a) La carga total acumulada en el condensador será:

$$C = \frac{Q}{V}; \text{ aislando } Q \text{ tenemos:}$$

$$Q = C \cdot V = 30 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 30 \text{ V} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

b) La energía almacenada en el condensador será:

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

$$W = \frac{1}{2} 30 \cdot 10^{-6} \cdot 30^2 = 0,0135 \text{ J}$$

c) El valor de la tensión, en un tiempo igual a cinco veces la constante de tiempo, será:

$$V = E (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$V = 30 (1 - e^{-\frac{5RC}{RC}}) = 30 (1 - e^{-5}) = 29,79 \text{ V}$$

5.4 Clasificación de los condensadores

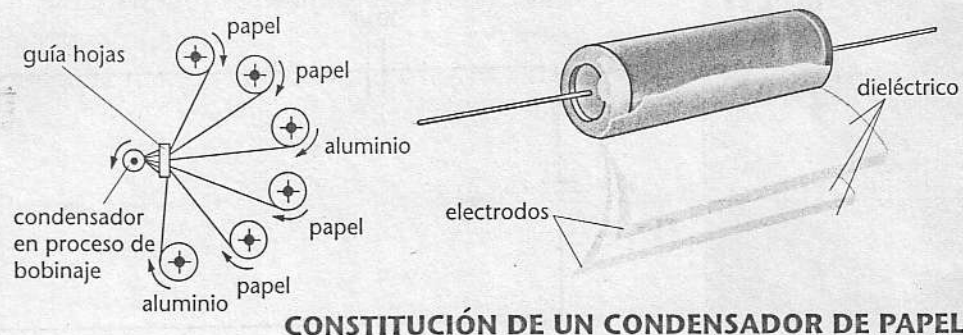
Los condensadores se pueden clasificar en fijos y variables.

5.4.1 Condensadores fijos

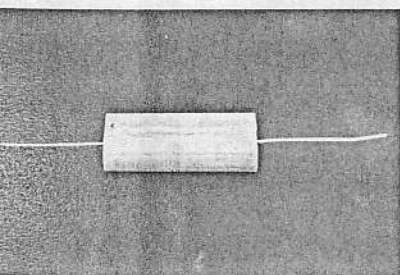
Los condensadores fijos son aquéllos que no modifican su capacidad. Se clasifican según el tipo de dieléctrico utilizado; los más importantes son los condensadores de papel, mica, plástico, vidrio, cerámicos y electrolíticos.

- **Condensadores de papel:** en estos condensadores el dieléctrico utilizado es la celulosa. El dieléctrico de celulosa se enrolla entre dos hojas metálicas, que normalmente son de aluminio. Su capacidad queda fijada según el número de vueltas. Una vez enrollado, el conjunto se cierra con los terminales de conexión por medio de una resina termoplástica.

Fig. 2.32



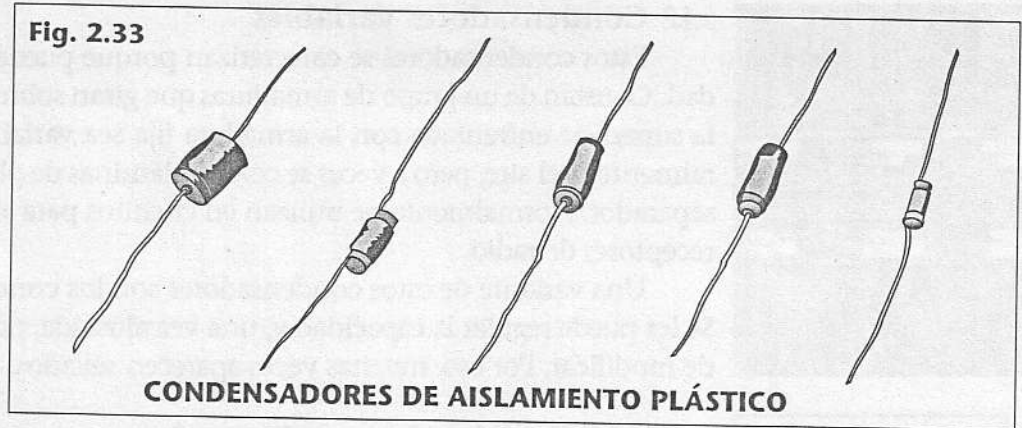
CONSTITUCIÓN DE UN CONDENSADOR DE PAPEL



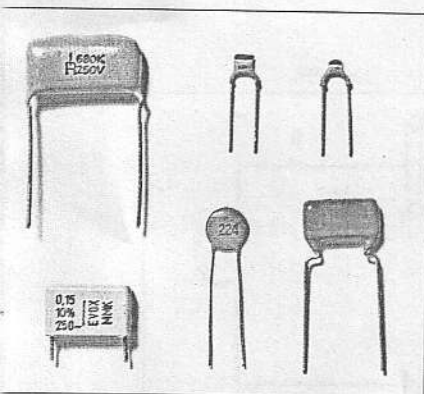
Condensador de papel.

- **Condensadores de plástico:** son los más utilizados actualmente. El dieléctrico que utilizan es el poliéster. También se fabrican con un proceso de bobinado de las hojas de poliéster y de aluminio. En sus extremos se conectan los terminales de conexión.

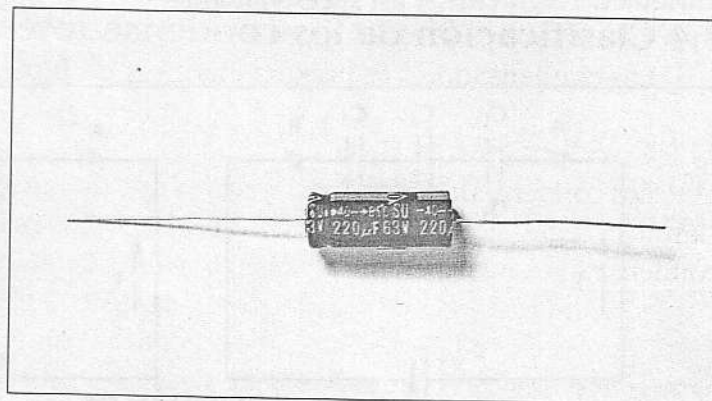
Fig. 2.33



- **Condensadores cerámicos:** el dieléctrico utilizado es un compuesto cerámico de una constante dieléctrica muy alta. El aspecto de estos condensadores varía según el modelo (en forma de disco o tubulares).

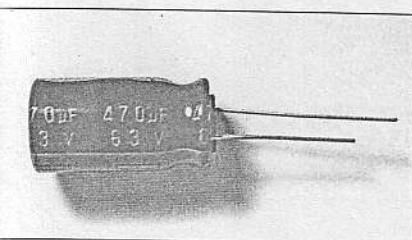


Diferentes tipos de condensador.



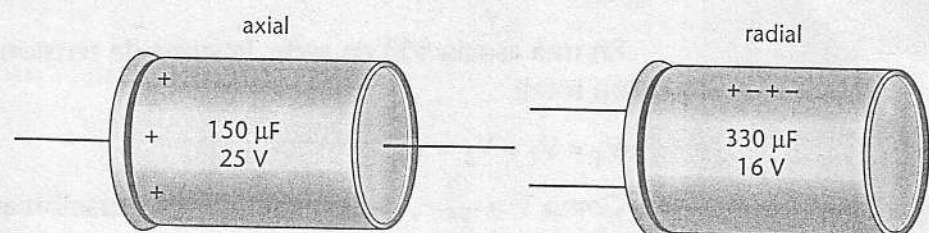
Condensador electrolítico radial.

- **Condensadores electrolíticos:** se diferencian del resto por su forma constructiva. Es el condensador que ofrece más capacidad con menos volumen. Además, a diferencia de los otros, se ha de tener en cuenta la polaridad; si no, el condensador se podría dañar o destruir, y por tanto tampoco puede conectarse en corriente alterna. Se fabrican a partir de óxidos de metales dieléctricos, como el aluminio. En la actualidad se construyen condensadores de tantalio, que reducen su volumen por la misma capacidad que uno de aluminio.

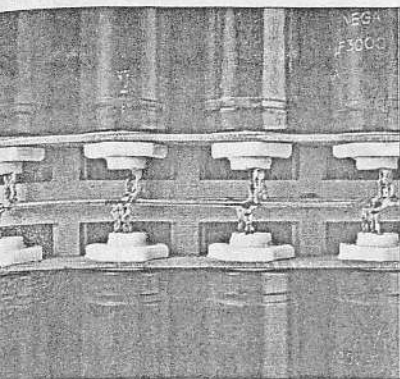


Condensador electrolítico axial.

Fig. 2.34



CONDENSADORES ELECTROLÍTICOS



Asociación
de condensadores.

5.4.2 Condensadores variables

Estos condensadores se caracterizan porque pueden modificar su capacidad. Constan de un grupo de armaduras que giran sobre un eje, de manera que la superficie enfrentada con la armadura fija sea variable. El dieléctrico generalmente es el aire, pero a veces se colocan láminas de plástico o de mica, como separador. Normalmente, se utilizan en circuitos para sintonizar emisoras con receptores de radio.

Una variante de estos condensadores son los **condensadores ajustables**. Se les puede regular la capacidad y, una vez ajustada, prácticamente no se han de modificar. Por eso, muchas veces aparecen sellados.

5.5 Asociación de condensadores

Los condensadores se asocian en serie, en paralelo y de manera mixta.

5.5.1 Asociación en serie

En una asociación en serie, cada salida del condensador se conecta a la entrada del siguiente, y así sucesivamente.

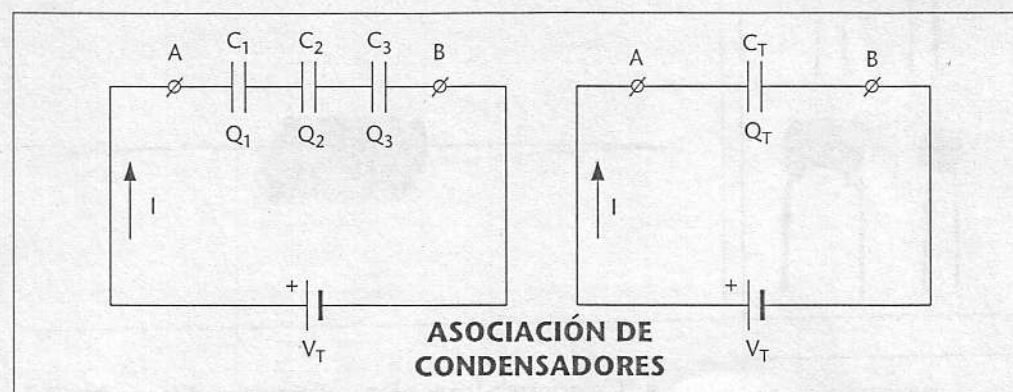


Fig. 2.35

En un circuito en serie, la carga es igual para cada condensador, ya que la intensidad que llega a cada condensador es la misma, y el tiempo de carga para cada uno, también. Por tanto, si llamamos Q_1 , Q_2 y Q_3 a la carga de cada condensador, y Q_T a la carga total, se cumplirá:

$$Q = I \cdot t$$

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

En una asociación en serie, la suma de tensiones parciales es igual a la tensión total:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

Como $V = \frac{Q}{C}$, sustituyendo en la ecuación anterior obtendremos:

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

Como $Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3$, podemos sacar factor común de Q_T :

$$\frac{Q_T}{C_T} = Q_T \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

Por tanto, la capacidad equivalente en un circuito en serie será:

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

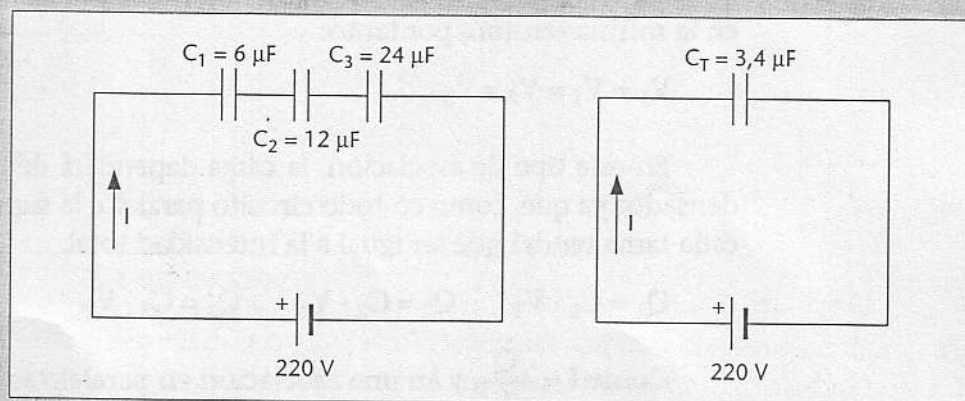
Generalizando, para n condensadores en serie:

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

Ejemplo

8. Determina la capacidad equivalente, la carga de cada condensador y la tensión a que están sometidos tres condensadores en serie de capacidad $C_1 = 6 \mu\text{F}$, $C_2 = 12 \mu\text{F}$ y $C_3 = 24 \mu\text{F}$, si el conjunto está sometido a una tensión de 220 V.

Fig. 2.36



Lo primero que haremos será determinar la capacidad equivalente del conjunto de condensadores:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \frac{1}{C_T} = \frac{1}{6 \mu\text{F}} + \frac{1}{12 \mu\text{F}} + \frac{1}{24 \mu\text{F}} \quad C_T = \frac{24}{7} \mu\text{F} = 3,4 \mu\text{F}$$

En una asociación en serie se cumple la relación $Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3$; por tanto:

$$Q_T = V \cdot C_T$$

$$Q_T = 220 \text{ V} \cdot 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 7,48 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

La tensión en cada condensador será:

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} \quad V_1 = \frac{7,48 \cdot 10^{-4} \text{ C}}{6 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 124 \text{ V}$$

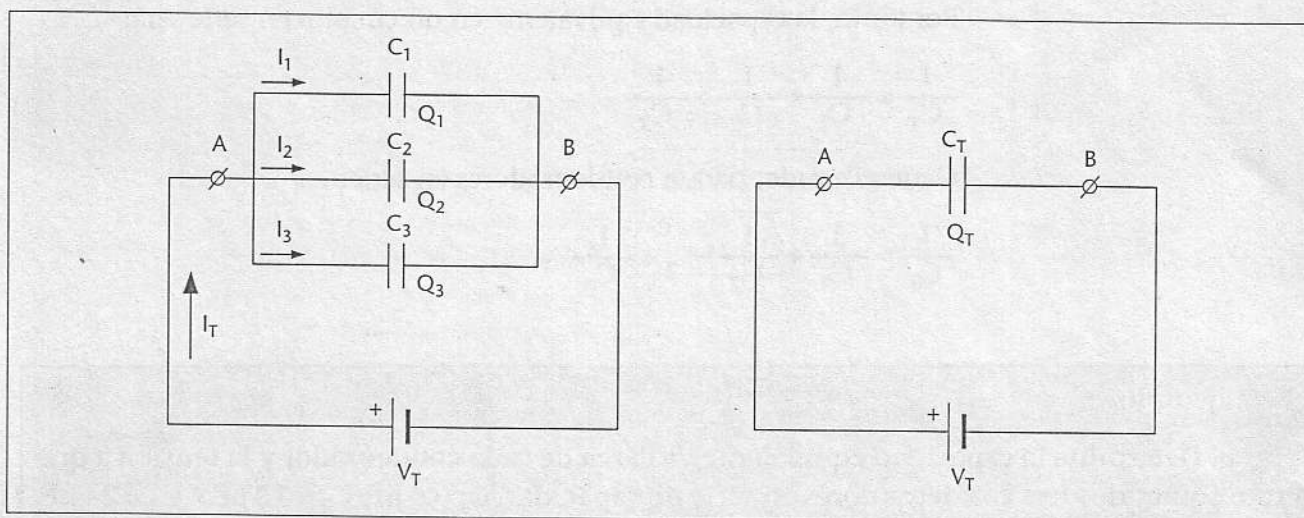
$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} \quad V_2 = \frac{7,48 \cdot 10^{-4} \text{ C}}{12 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 62,3 \text{ V}$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} \quad V_3 = \frac{7,48 \cdot 10^{-4} \text{ C}}{24 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 31,16 \text{ V}$$

5.5.2 Asociación en paralelo

En una asociación en paralelo o en derivación, todas las entradas se conectan en un punto común, y las salidas, también.

Fig. 2.37



En una asociación en paralelo, todos los condensadores quedan sueltos en la misma tensión; por tanto:

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3$$

En este tipo de asociación, la carga dependerá de la capacidad del condensador ya que, como en todo circuito paralelo, la suma de intensidades en cada rama tendrá que ser igual a la intensidad total.

$$Q_1 = C_1 \cdot V_T \quad Q_2 = C_2 \cdot V_T \quad Q_3 = C_3 \cdot V_T$$

Como $I = \frac{Q}{t}$, y en una asociación en paralelo se cumple:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3, \text{ obtenemos: } \frac{Q_T}{t} = \frac{Q_1}{t} + \frac{Q_2}{t} + \frac{Q_3}{t}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Por tanto, en un circuito en paralelo la carga total del circuito es igual a la suma de las cargas de los condensadores.

Para determinar la capacidad equivalente, sólo tendremos que sustituir el valor de la carga:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$C_T \cdot V_T = C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2 + C_3 \cdot V_3;$$

Como $V_T = V_1 = V_2 = V_3$, obtenemos la relación: $C_T = C_1 + C_2 + C_3$

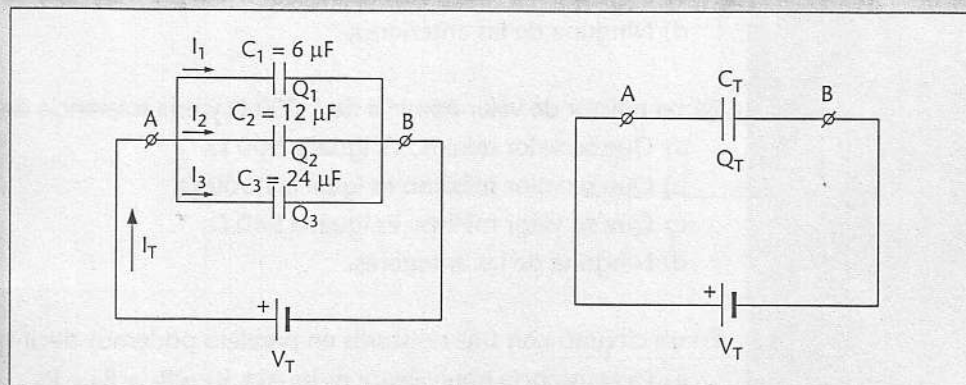
Generalizando, para n condensadores:

$$C_T = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Ejemplo

9. Determina la capacidad equivalente, la carga de cada condensador y la tensión a que están sometidos los tres condensadores del ejercicio anterior, conectados en paralelo ($C_1 = 6 \mu\text{F}$, $C_2 = 12 \mu\text{F}$ y $C_3 = 24 \mu\text{F}$), si el conjunto está sometido a una tensión de 200 V.

Fig. 2.38



Lo primero que haremos será determinar la capacidad equivalente del conjunto de condensadores:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \quad C_T = 6 \mu\text{F} + 12 \mu\text{F} + 24 \mu\text{F} = 42 \mu\text{F}$$

En una asociación en paralelo se cumple $V_T = V_1 = V_2 = V_3$; por tanto, la tensión de cada condensador será la misma que la del circuito.

La carga de cada condensador:

$$Q_1 = C_1 \cdot V_T \quad Q_1 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 200 \text{ V} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

$$Q_2 = C_2 \cdot V_T \quad Q_2 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 200 \text{ V} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

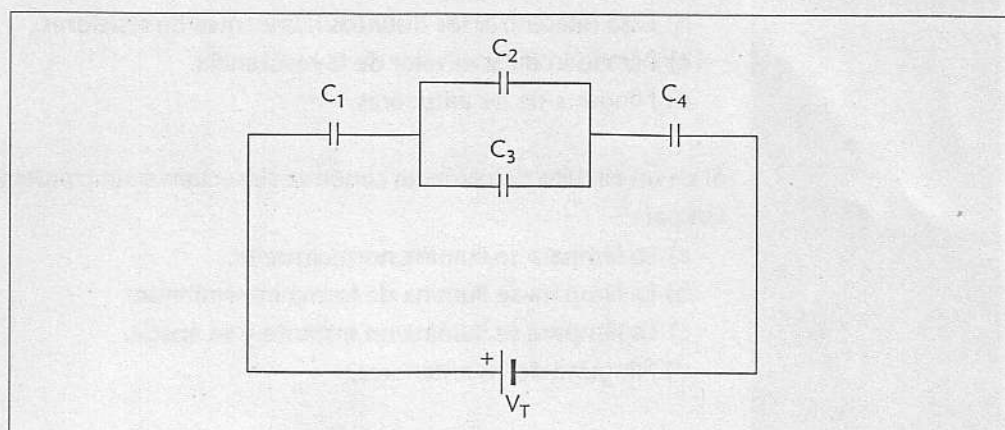
$$Q_3 = C_3 \cdot V_T \quad Q_3 = 24 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 200 \text{ V} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

$$\text{La carga total: } Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad Q_T = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

5.5.3 Asociación mixta

Una asociación mixta es una combinación de condensadores conectados en serie y en paralelo. Para resolver este tipo de circuitos, se calculan por separado los montajes en serie y en paralelo para obtener un circuito único.

Fig. 2.39



AUTOEVALUACIÓN

- 1 En un resistor podemos decir que la tolerancia es:
 - a) La diferencia entre el valor resistivo real y el valor máximo.
 - b) La diferencia entre los valores máximo y mínimo.
 - c) La diferencia entre el valor resistivo real y el valor nominal.
 - d) Ninguna de las anteriores.
- 2 En un resistor de valor nominal de 1.000Ω y una tolerancia de $\pm 10 \%$, podemos decir:
 - a) Que su valor mínimo es igual a 900Ω .
 - b) Que su valor máximo es igual a 1.500Ω .
 - c) Que su valor mínimo es igual a 940Ω .
 - d) Ninguna de las anteriores.
- 3 En un circuito con tres resistores en paralelo podemos decir que:
 - a) La resistencia equivalente es igual a $R_T = R_1 + R_2 + R_3$
 - b) La resistencia equivalente es igual a $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$
 - c) Ninguna de las anteriores.
 - d) Todas son correctas.
- 4 En un circuito de resistores en serie podemos decir que:
 - a) La intensidad total del circuito es igual a la suma de las intensidades que circulan por cada resistencia.
 - b) La intensidad total del circuito es igual a la intensidad que circula por cada resistencia.
 - c) Ninguna de las anteriores.
 - d) Todas son correctas.
- 5 Dos resistencias iguales conectadas en paralelo a una tensión de 50 W consumen, entre las dos, 100 W . Si las conectamos en serie a la misma tensión de 50 W , disiparán entre las dos una potencia de:
 - a) 400 W
 - b) 100 W
 - c) 25 W
 - d) 50 W
- 6 En un resistor el código de colores sirve:
 - a) Para identificar qué tipo de resistor es.
 - b) Para diferenciar los distintos fabricantes de resistores.
 - c) Para identificar el valor de la resistencia.
 - d) Ninguna de las anteriores.
- 7 Si en un circuito de corriente continua conectamos un condensador en serie a una lámpara:
 - a) La lámpara se ilumina normalmente.
 - b) La lámpara se ilumina de forma intermitente.
 - c) La lámpara se ilumina un instante y se apaga.
 - d) Ninguna de las anteriores.