

## 2.1. Los componentes pasivos

Un sistema eléctrico se puede descomponer y simplificar con base a una serie de componentes básicos obteniendo un circuito de comportamiento equivalente. En función de la naturaleza de la corriente (continua o alterna), los componentes básicos se clasifican en:

- Corriente continua {
  - Resistencia.
- Corriente alterna {
  - Resistencia.
  - Condensador.
  - Bobina.

Cuando estos elementos son situados en un circuito eléctrico, cada uno de ellos se comporta de manera diferente.

## 2.2. La resistencia

La resistencia eléctrica o **resistor** es un elemento básico en los circuitos eléctricos. Su función es ofrecer una cierta oposición al paso de la corriente eléctrica. Provoca una caída de tensión en sus extremos y cumple con la ley de Ohm.

### 2.2.1. Tipos de resistencias

Existen diferentes tipos de resistencias eléctricas en función de su constitución, entre ellas:

- **Resistencias bobinadas.** Consiste en emplear un hilo eléctrico sobre una base cerámica que hace de soporte. Su resistencia depende del material y de la longitud del hilo. Son voluminosas y solo se emplean en aplicaciones donde se necesita una alta potencia de disipación.
- **Resistencias de carbón.** Las hay de dos tipos: carbón prensado (apenas se emplean) y de película de carbón. Emplean grafito en polvo.



Figura 2.1. Resistencia de película de carbón. 1 kΩ, 1/4 W y ± 5%.

- **Resistencias de óxido metálico.** Son similares a las de película de carbón pero empleando algún óxido metálico como estaño o latón. Se emplean en aplicaciones donde se exige gran fiabilidad (por ejemplo: aplicaciones militares).

- **Resistencias de película metálica.** Están compuestas por una capa de material metálico. Poseen buenas características y estabilidad, lo que hace que sean las más empleadas hoy en día.



Figura 2.2. Resistencia de película metálica. 4k7 Ω, 0,5 W y 1%.

- **Resistencias de metal vidriado.** Están compuestas por una película a base de vidrio con materiales metálicos. Tienen un buen comportamiento ante sobrecorrientes.

Las resistencias pueden tener un valor óhmico fijo o pueden ser variables. Estas resistencias variables a voluntad reciben el nombre de resistencias ajustables (se fija su valor y luego no se suele variar) y resistencias variables o **potenciómetros**. Para ello cuentan con un contacto deslizante.



Figura 2.3. Resistencia variable.

Figura 2.4. Potenciómetro de película de carbón.

Existe otro tipo de resistencia variable llamado **reostato**. Es una resistencia de tipo bobinado y de gran potencia de disipación y se suele emplear en el arranque y control de motores de corriente continua (Figura 2.5).

Existen otros tipos de resistencias cuyos valores dependen de la temperatura (PTC, NTC), de la luz (LDR) o de la tensión (VDR).



Figura 2.5. Reostato de 500 W.



Figura 2.6. Resistencia variable con la luz LDR.

Los parámetros más importantes de una resistencia son:

- **Valor óhmico nominal.** Es el que indica el fabricante en condiciones de laboratorio y por ello varía ligeramente en la realidad.
- **Tolerancia.** Debido a esa discrepancia entre el valor indicado por el fabricante y el real aparece el término tolerancia en la cual el valor real está dentro de ese margen.
- **Potencia nominal.** Es el valor de la potencia que es capaz de disipar la resistencia. Si se sobrepasa la resistencia se destruye.

### 2.2.2. Código de colores

Las resistencias indican su valor óhmico de manera numérica, aunque en la mayoría de las ocasiones son tan pequeñas que es imposible y se recurre a un código de colores.

Los valores de las resistencias óhmicas están estandarizados según series (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Series normalizadas de resistencias

	Serie							
	E12	E24	E48		E96			
1	1	1,1	1,05	3,16	1,02	1,78	3,16	5,62
	1,2	1,3	1,15	3,48	1,05	1,82	3,32	5,90
	1,5	1,6	1,21	3,83	1,10	1,96	3,48	6,19
1,5	1,6	1,8	1,27	4,02	1,13	2,00	3,57	6,34
	2	2,2	1,40	4,42	1,18	2,10	3,74	6,65
	2,2	2,4	1,47	4,64	1,21	2,15	3,83	6,81
2,2	2,4	2,7	1,54	4,87	1,24	2,21	3,92	6,98
	2,7	3	1,62	5,11	1,27	2,26	4,02	7,15
	3	3,3	1,69	5,36	1,30	2,32	4,12	7,32
2,7	3,3	3,6	1,78	5,62	1,33	2,37	4,22	7,50
	3,6	3,9	1,87	5,90	1,37	2,43	4,32	7,68
	3,9	4,3	1,96	6,19	1,40	2,49	4,42	7,87
3,3	4,3	4,7	2,05	6,49	1,43	2,55	4,53	8,06
	4,7	5,1	2,15	6,81	1,47	2,61	4,64	8,25
	5,1	5,6	2,26	7,15	1,50	2,67	4,75	8,45
4,7	5,6	6,2	2,37	7,50	1,54	2,74	4,87	8,66
	6,2	6,8	2,49	7,87	1,58	2,80	4,99	8,87

	Serie							
	E12	E24	E48		E96			
6,8	6,8	7,5	2,61	8,25	1,62	2,87	5,11	9,09
	8,2	9,1	2,87	9,09	1,69	3,01	5,36	9,53
8,2	9,1	10	3,01	9,53	1,74	3,09	5,49	9,76

### Sabías que...

En las resistencias, la coma decimal se sustituye por el indicador de los múltiplos, así por ejemplo una resistencia de 1,8 k se puede expresar como 1k8.

El código de colores está compuesto por una serie de bandas, y puede tener 4, 5 o 6 bandas:

- Si es de 4 bandas, las 2 primeras indican la cifra, y si es de 5 o 6 bandas, las 3 primeras indican la cifra.
- La siguiente banda es un multiplicador.
- La siguiente banda indica la tolerancia.
- Si es de 6 bandas, la última indica el coeficiente de temperatura.

Tabla 2.2. Código de colores para la resistencia

Color	1.ª cifra	2.ª cifra	3.ª cifra	Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	0	0	1 Ω	—
Marrón	1	1	1	10 Ω	± 1 %
Rojo	2	2	2	100 Ω	± 2 %
Naranja	3	3	3	1 kΩ	—
Amarillo	4	4	4	10 kΩ	—
Verde	5	5	5	100 kΩ	± 0,5 %
Azul	6	6	6	1 MΩ	± 0,25 %
Violeta	7	7	7	10 MΩ	± 0,1 %
Gris	8	8	8	100 MΩ	± 0,05 %
Bianco	9	9	9	—	—
Oro	—	—	—	0,1 Ω	± 5 %
Plata	—	—	—	0,01 Ω	± 10 %

**Actividad resuelta 2.1**

Una resistencia tiene las siguientes bandas de colores: marrón, negro, naranja, oro.

¿Cuál es su resistencia y su tolerancia?

**Solución:**

- 1.ª banda: marrón: 1.
- 2.ª banda: negro: 0.
- 3.ª banda: naranja: x 1 kΩ.
- 4.ª banda: 5 %.

Por tanto, indica una resistencia de 10 · 1 kΩ que es igual a 10 kΩ.

Con una tolerancia del 5 %.

**2.2.3. Simbología**

Las resistencias se comportan de igual manera tanto en corriente continua como en corriente alterna. La resistencia en corriente alterna recibe el nombre de **impedancia**.

La resistencia se representa por la letra **R** y la impedancia se representa por la letra **Z**. En ambos casos su unidad de medida es el ohmio (Ω). Se representa mediante los símbolos de la Tabla 2.4.

Tabla 2.3. Resistencia e impedancia

	Magnitud	Unidad de medida
Corriente continua	R Resistencia	Ω Ohmio
Corriente alterna	Z Impedancia	Ω Ohmio

Tabla 2.5. Asociación de resistencias

Asociación	Equivalente	Valor
		$R_T = R_1 + R_2$
		$\frac{1}{R_T} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n}; R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$
		$R_T = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$

Tabla 2.4. Símbolos de resistencia y variantes

	Resistencia
	Potenciómetro (símbolo general)
	Potenciómetro (con contacto móvil)
	Resistencia de ajuste
	Reostato
	LDR (dependiente de la luz)
	PTC, NTC (dependiente de la temperatura)
	VDR (dependiente de la tensión)

**2.2.4. Asociación de resistencias**

Las resistencias e impedancias se pueden asociar en serie, paralelo o de forma mixta. En estos casos se tiene que:

- **Asociación en serie.** La resistencia total es la suma de las resistencias.
- **Asociación en paralelo.** La inversa de la resistencia total es la suma de las inversas de cada una de las resistencias de la asociación.
- **Asociación mixta.** En el circuito se encuentran resistencias conectadas en serie y en paralelo. Se resuelve simplificando el circuito.

**Actividad resuelta 2.2**

¿Cuál es la resistencia total del circuito compuesto por dos resistencias en serie, sabiendo que  $R_1 = 15 \Omega$  y  $R_2 = 30 \Omega$ ?

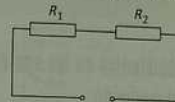


Figura 2.7. Serie.

**Solución:**

Al estar en serie ambas resistencias, la equivalente es la suma de ambas:

$$R_T = R_1 + R_2 = 15 + 30 \Omega = 45 \Omega$$

**Actividad resuelta 2.3**

¿Cuál es la resistencia total de un circuito compuesto por dos resistencias en paralelo, sabiendo que  $R_1 = 15 \Omega$  y  $R_2 = 30 \Omega$ ?



Figura 2.8. Paralelo.

**Solución:**

Al estar en paralelo ambas resistencias, se obtiene que la resistencia total es:

$$\frac{1}{R_T} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2};$$

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{15 \cdot 30}{15 + 30} = 10 \Omega$$

Se observa (comparado con la actividad resuelta anterior) que la resistencia total es menor que la más pequeña de las resistencias.

**2.2.5. Divisor de tensión**

Un circuito compuesto por dos resistencias en serie se comporta como un divisor de tensión, obteniendo en el punto entre las dos resistencias un voltaje que depende del valor óhmico de ambas.

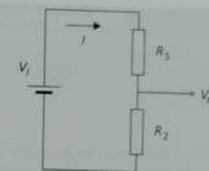


Figura 2.9. Divisor de tensión mediante dos resistencias.

El valor de la corriente aplicando la ley de Ohm es:

$$I = \frac{V_i}{R_1 + R_2}$$

Y la tensión es de:

$$V_O = I \cdot R_2 = \frac{V_i}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

$$V_O = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_i$$

Si ambas resistencias son iguales, se tiene que:

$$R_1 = R_2 = R$$

$$V_O = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_i = \frac{R}{R + R} \cdot V_i = \frac{1}{2} \cdot V_i$$

Si en lugar de emplear dos resistencias se emplea una resistencia variable, el valor de salida se puede ajustar entre cero y la tensión de la fuente.

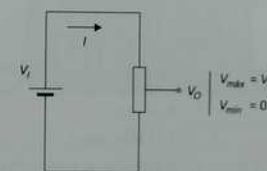


Figura 2.10. Divisor de tensión mediante resistencia variable.

El valor óhmico de las resistencias a emplear depende de las características de la carga conectada a la salida.

También es posible ajustar el voltaje de salida de tal manera que se pueda variar entre valores intermedios. En este caso basta con colocar una resistencia en serie con el potenciómetro para provocar una caída de tensión fija en la resistencia.

**Actividad resuelta 2.4**

Diseña un divisor de tensión, de tal manera que a partir de una fuente de tensión de 12 V se obtenga un voltaje entre 0 V y 10 V.

**Solución:**

Como la tensión de salida máxima es inferior a la tensión de la fuente se coloca una resistencia en serie, de tal manera que provoque una caída de tensión de 2 V. Así, cuando el potenciómetro esté en su posición superior el nivel de salida será de 10 V ( $10 + 2 = 12$  V).

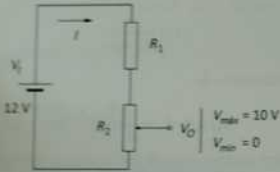


Figura 2.11. Divisor de tensión con límite superior.

Se plantea la expresión del divisor de tensión:

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_i$$

Despejando:

$$V_0(R_1 + R_2) = V_i \cdot R_2$$

$$R_1 + R_2 = \frac{V_i}{V_0} \cdot R_2$$

$$R_1 = \left(\frac{V_i}{V_0} - 1\right) \cdot R_2$$

Sustituyendo:

$$R_1 = \left(\frac{12}{10} - 1\right) \cdot R_2 = 0,2 \cdot R_2$$

El valor de  $R_1$  y  $R_2$  depende de la carga, si se considera que  $R_2 = 1$  k $\Omega$ :

$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 0,2 \cdot 1 \text{ k}\Omega = 200 \Omega$$

También se podría haber planteado la resolución en función de la corriente:

$$I = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{R_2}$$

$$R_1 = \frac{V_1}{V_2} \cdot R_2 = \frac{2}{10} \cdot R_2 = 0,2 \cdot R_2$$

Se puede verificar que:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{1000 + 200} = 0,01 \text{ A}$$

$$V_1 = I \cdot R_1 = 0,01 \cdot 200 = 2 \text{ V}$$

$$V_2 = I \cdot R_2 = 0,01 \cdot 1000 = 10 \text{ V}$$

$$V = V_1 + V_2 = 12 \text{ V}$$

**2.2.6. Resistencia en los aparatos de medición**

Existe una técnica para aumentar el alcance en la medición de los aparatos que consiste en intercalar una resistencia.

Supongamos que se tiene un galvanómetro cuyo fondo de escala es de 1 mA y se quiere emplear para medir corrientes de hasta 10 mA. Esta técnica consiste en colocar una resistencia (denominada *shunt*) en paralelo con el aparato de medición de tal manera que las corrientes se dividan por ambas ramas.

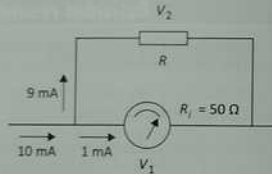


Figura 2.12. Resistencia shunt.

Así, en este ejemplo, cuando circule la máxima corriente que soporta el aparato de medición (1 mA) significaría que la corriente total sería 10 mA y la diferencia (9 mA) se derivaría por la resistencia sin que el aparato sufriese daños.

Al estar en paralelo tanto la resistencia como el aparato de medición, la tensión en bornes de ambos es la misma. También hay que tener en cuenta que el aparato de medición tiene una resistencia interna ( $R_i$ ).

$$V_1 = V_2$$

$$1 \text{ mA} \cdot R_i = 9 \text{ mA} \cdot R$$

Si la resistencia interna es de, por ejemplo, 50  $\Omega$ :

$$1 \text{ mA} \cdot 50 \Omega = 9 \text{ mA} \cdot R$$

$$R = \frac{1 \text{ mA} \cdot 50 \Omega}{9 \text{ mA}} = 5,55 \Omega$$

**Recuerda:**

Un galvanómetro es un aparato de medición destinado a medir pequeñas corrientes eléctricas.

De manera similar, si se colocan varias resistencias y un selector se pueden realizar diversas mediciones variando el alcance del aparato de medida.

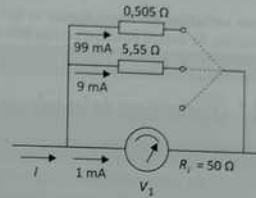


Figura 2.13. Variación del alcance de medición empleando varias resistencias shunt.

El galvanómetro, al tener una resistencia interna, también puede emplearse como voltímetro. Así cuando circule una corriente de 1 mA, en sus bornes habrá una diferencia de potencial de 50 mV:

$$U = I \cdot R_i = 1 \text{ mA} \cdot 50 \Omega = 50 \text{ mV}$$

De manera análoga, si se coloca una resistencia en serie, se puede ampliar el alcance de medición.

**Actividad resuelta 2.5**

Diseña un voltímetro a partir de un galvanómetro que posee una resistencia interna de 50  $\Omega$  y su alcance máximo es de 1 mA. El voltímetro, mediante un selector, debe ser capaz de medir tensiones de hasta 50 mV, 0,5 V y 5 V.

**Solución:**

Como se coloca una resistencia ( $R$ ) en serie con el aparato, la corriente que circula es la misma.

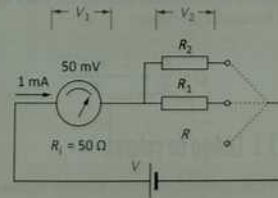


Figura 2.14. Galvanómetro trabajando como voltímetro.

Así, se tiene que:

$$I = \frac{V_1}{R_i} = \frac{V_2}{R}$$

Para  $V = 0,5$  V:

$$\frac{0,05}{50} = \frac{0,45}{R}$$

$$R_1 = R = 450 \Omega$$

Para  $V = 5$  V:

$$\frac{0,05}{50} = \frac{4,95}{R}$$

$$R_2 = R = 4950 \Omega$$

No obstante, el galvanómetro tanto como amperímetro como voltímetro tiene sus limitaciones.

**2.3. La bobina**

Una bobina o autoinducción está formada por el arrollamiento de un conductor aislado sobre un núcleo. Este conductor está aislado mediante un barniz y como núcleo se emplea el aire o algún material con propiedades ferromagnéticas como la ferrita. Alrededor de las espiras se crea un campo magnético.

Las bobinas se encuentran en muchos tipos de dispositivos eléctricos, como por ejemplo en motores y transformadores, y en equipos electrónicos realizando funciones de filtros y osciladores.

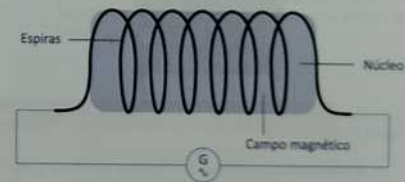


Figura 2.15. Bobina.

**Recuerda:**

Una espira es una vuelta completa alrededor del núcleo. Con el objetivo de aumentar el efecto de una espira, estas se multiplican formando un arrollamiento o bobina.

### 2.3.1. Tipos de bobinas

Existen diferentes tipos de bobinas en función de su constitución, entre ellas:

- **Bobinas con núcleo de aire.** Consisten en bobinas cuyo núcleo es el aire. Poseen valores de autoinducción bajos.
- **Bobinas con núcleo de ferrita.** Poseen valores de autoinducción más elevados respecto a las que van con núcleo de aire.



Figura 2.16. Bobinas con núcleo de ferrita de 1000 µH.

- **Bobinas toroidales.** Emplean un toroide para que el flujo magnético generado no se disperse hacia el exterior. Poseen gran rendimiento.



Figura 2.17. Bobina toroidal.

- **Bobinas encapsuladas.** Se emplean en filtros y osciladores.



Figura 2.18. Bobinas encapsuladas.

- **Bobinas para montaje SMD.** Poseen un tamaño muy reducido y están destinadas al montaje superficial. Poseen unos valores de coeficiente de autoinducción o inductancia bajos.
- **Bobinas variables.** Permiten ajustar su valor de autoinducción. Se suelen emplear en equipos de radiofrecuencia.

### 2.3.2. Características de las bobinas

Las características principales de las bobinas son:

- **Coefficiente de autoinducción.** Una bobina es un arrollamiento de  $N$  espiras sobre un núcleo (que puede ser el aire). Si el núcleo es de un material ferromagnético, su coeficiente de autoinducción viene definido por la expresión:

$$L = N \cdot \frac{\Phi}{I}$$

Donde:

$L$ : Coeficiente de autoinducción (H, henrio).

$\Phi$ : Flujo magnético (Wb, weber).

$I$ : Intensidad (A, amperio).

$N$ : Número de espiras.

Tabla 2.6. Bobina

Componente	Unidad de medida
L Bobina	H Henrio

- **Tolerancia.** Límite de variación sobre el valor nominal.
- **Factor de calidad.** Es la relación entre la reactancia inductiva y la resistencia óhmica. Su valor depende de la frecuencia de trabajo.

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{R}$$

### 2.3.3. Código de colores

Algunas bobinas comerciales llevan impreso su valor mientras que otras emplean un código de colores similar al empleado con las resistencias.

El valor que expresa va indicado en µH.

Tabla 2.7. Códigos de colores para las bobinas encapsuladas

Color	1.ª cifra	2.ª cifra	Multiplicador	Tolerancia
Piata	—	—	0,01	± 10 %
Oro	—	—	0,1	± 5 %
Negro	0	0	1	—
Marrón	1	1	10	—
Rojo	2	2	100	—
Naranja	3	3	1 K	—
Amarillo	4	4	10 K	—
Verde	5	5	100 K	—
Azul	6	6	1 M	—
Violeta	7	7	10 M	—
Gris	8	8	—	—
Blanco	9	9	—	—

Tabla 2.8. Símbolos de la bobina y sus variantes

	Bobina
	Bobina con núcleo
	Bobina con polaridad
	Bobina con núcleo y polaridad
	Bobina variable con núcleo
	Bobina variable con núcleo y polaridad
	Bobina ajustable con núcleo
	Bobina ajustable con núcleo y polaridad

### 2.3.5. Asociación de bobinas

Las bobinas se pueden asociar en serie, paralelo o de forma mixta. En estos casos tenemos que:

- **Asociación en serie.** El coeficiente de autoinducción total es la suma de cada bobina.
- **Asociación en paralelo.** La inversa del coeficiente de autoinducción total es la suma de las inversas de los coeficientes de autoinducción de cada bobina de la asociación.

### 2.3.4. Simbología

Una bobina se representa por el símbolo de la Tabla 2.8 y se expresa por la letra  $L$ . Se define por el **coeficiente de autoinducción o inductancia ( $L$ )** cuya unidad de medida es el **henrio (H)**, pero al ser un valor alto se emplea el submúltiplo de milihenrio (mH; 1mH = 10<sup>-3</sup> H).

Tabla 2.9. Asociación de bobinas

Asociación	Equivalente	Valor
		$L_T = L_1 + L_2$
		$\frac{1}{L_T} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{L_n}; L_T = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$
		$L_T = \frac{L_1 \cdot (L_2 + L_3)}{L_1 + (L_2 + L_3)}$

- **Asociación mixta.** En el circuito se encuentran bobinas conectadas en serie y en paralelo. Se resuelve simplificando el circuito.

**Actividad resuelta 2.6**

¿Cuál es el coeficiente de autoinducción total del circuito serie de la figura, sabiendo que  $L_1 = 5$  henrios y  $L_2 = 3$  henrios?

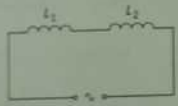


Figura 2.19. Serie.

**Solución:**

Al estar en serie ambas bobinas, se suman sus respectivos coeficientes de autoinducción.

$$L_T = L_1 + L_2 = 5 \text{ H} + 3 \text{ H} = 8 \text{ H}$$

**Actividad resuelta 2.7**

¿Cuál es el coeficiente de autoinducción total del circuito paralelo de la figura, sabiendo que  $L_1 = 5$  henrios y  $L_2 = 3$  henrios?

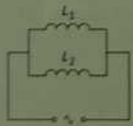


Figura 2.20. Paralelo.

**Solución:**

Al estar en paralelo ambas bobinas, se obtiene que:

$$\frac{1}{L_T} = \sum_{n=1}^2 \frac{1}{L_n} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

$$L_T = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} = \frac{5 \cdot 3}{5 + 3} = 1,875 \text{ H}$$

Se observa (comparado con el ejemplo anterior) que el coeficiente de autoinducción es menor.

**2.4. El condensador**

Un condensador es un elemento destinado a almacenar carga eléctrica.

La capacidad de un condensador se define como la cantidad de carga que puede almacenar por la unidad de tensión.

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

Donde:

C: Capacidad del condensador en faradios (F).

Q: Carga eléctrica en culombios (C).

V: Tensión eléctrica en voltios (V).

El condensador está formado por dos placas conductoras de la electricidad, una enfrente de la otra y separadas por un aislante llamado **dieléctrico**. Como dieléctrico se suele emplear: aire, papel, mica, etc. Entre las placas o armaduras del condensador se crea un **campo eléctrico**.

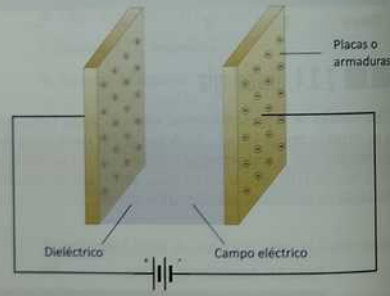


Figura 2.21. Condensador.

La capacidad de un condensador viene determinada por sus características constructivas según la expresión:

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

Donde:

S: Superficie de las armaduras.

d: Espesor del dieléctrico.

$\epsilon_r$ : Constante dieléctrica relativa del aislante.

$\epsilon_0$ : Constante dieléctrica del vacío.

**2.4.1. Tipos de condensadores**

Existen diferentes tipos de condensadores:

- **Condensadores cerámicos.** El dieléctrico está formado a base de cerámicas. Tienen una constante dieléctrica muy alta, pero son sensibles a las variaciones de temperatura. Se construyen de diversas formas físicas: en forma de disco, de placa, tubulares, chips. Se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Grupo I. De baja constante dieléctrica, alta resistencia de aislamiento, baja capacidad (< 1 nF) y muy estables. Se emplean en circuitos de alta frecuencia y resonantes.
- Grupos II y III. De alta constante dieléctrica, menor resistencia de aislamiento, mayor capacidad para el mismo volumen (< 500 nF). Se emplean en filtros de RF.



Figura 2.22. Condensador cerámico.

- **Condensadores de mica.** Emplean láminas de mica como dieléctrico. Funcionan bien a altas frecuencias y soportan bien las altas temperaturas con bajas pérdidas, pero son económicamente más caros. Se emplean en sustitución de los condensadores cerámicos cuando se desea alta estabilidad. Se fabrican con capacidades entre 2 pF y 220 nF.

- **Condensadores de papel.** Su dieléctrico está formado por papel parafinado o por otro tratamiento reductor higroscópico. Se emplean en circuitos de acoplo/desacoplo, filtros antiparásitos, etcétera.



Figura 2.23. Condensador de papel.

- **Condensadores de plástico.** Tienen buenas prestaciones a un coste económico reducido, por lo que son los más empleados. Dependiendo del tipo de

Tabla 2.10. Constantes dieléctricas relativas de aislantes

Material	$\epsilon$
Vacío	1
Aire	1,006
Parafina	2
Papel	2-2,8
Madera	2-8
Mica	4
Vidrio	2-10
Agua	81

Si se somete el dieléctrico a tensiones cada vez más elevadas, llega un momento en el cual la capacidad del aislante se rompe perforándose y permitiendo el paso de la corriente eléctrica.

La **rigidez dieléctrica** es la máxima tensión por centímetro de espesor que un dieléctrico puede aguantar sin romperse.

Tabla 2.11. Rigidez dieléctrica de algunos materiales

Material	Rigidez dieléctrica (kV/cm)
Aire a 1 atm	30
Aceite de trafos	140
Baquelita	180
Caucho	230
Ebonita	300
Goma	130
Mica	650
Papel	90
Parafina	150
PVC	250
Poliétileno	350
Porcelana	100
Vidrio	160

dieléctrico, se tienen los de poliestireno (KS), poliéster (KT), poliéster metalizados (MKT), polipropileno (KP), polipropileno metalizado (MKP), policarbonato metalizado (MKC) y teflón (PTFE).



Figura 2.26. Condensadores de polipropileno y poliéster.

El condensador de polipropileno se emplea normalmente para la compensación de circuitos de alumbrado y de motores. En este caso, son de forma cilíndrica y preparados para trabajar con tensiones superiores a 250 V y 450 V y con capacidades desde 2  $\mu\text{F}$  a 80  $\mu\text{F}$ . Por su tamaño suelen llevar un tornillo de fijación que les da solidez.



Figura 2.27. Condensador de polipropileno.

• **Condensadores electrolíticos de aluminio.** Tienen polaridad y por tanto solo se emplean con corriente continua. Poseen una alta capacidad (entre 1  $\mu\text{F}$  y 220 000  $\mu\text{F}$ ), pero el inconveniente de una alta corriente de fuga. Se emplean para el filtrado de fuentes de alimentación, acoplado/desacoplado o almacenamiento de energía.



Figura 2.28. Condensador electrolítico de aluminio.

• **Condensadores electrolíticos de tántalo.** Tienen polaridad. Su dieléctrico está formado por óxido de tántalo. Alcanzan más capacidad que los electrolíticos con menor espacio (entre 10 nF y 500  $\mu\text{F}$ ), pero son económicamente más caros.

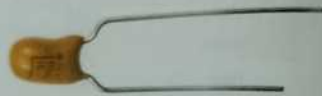


Figura 2.27. Condensador de tántalo.

• **Condensadores variables.** Son condensadores que pueden variar su capacidad. Normalmente, su dieléctrico es el aire y funcionan a base de hacer girar un grupo de sus armaduras respecto a las otras.

• **Condensadores ajustables.** También varían su capacidad, pero una vez ajustados en el circuito ya no se modifican. Su dieléctrico puede ser de diversos tipos (plásticos, cerámicos, mica).



Figura 2.28. Condensador ajustable de 50 pF.

### 2.4.2. Codificación en los condensadores

En los condensadores hay varias formas de marcado: directamente sobre el condensador, mediante bandas de colores y mediante código.

El marcado mediante bandas de colores es similar al de las resistencias. Su valor va expresado en picofaradios (pF).

#### Actividad resuelta 2.8

Un condensador de poliéster está marcado con las siguientes bandas de colores: verde, azul, naranja, negro, rojo.

¿Qué indica este marcado?

**Solución:**

- Verde = 5.
- Azul = 6.
- Naranja =  $\times 1000$ .

Tabla 2.12. Código de colores de condensadores



Color	1.ª cifra	2.ª cifra	Multiplicador	Tolerancia		Tensión	
				C > 10 pF	C < 10 pF	Poliéster	Tántalo
Negro	0	0	1	$\pm 20\%$	—	—	10 V
Marrón	1	1	10	$\pm 1\%$	$\pm 0.1 \text{ pF}$	100 V	—
Rojo	2	2	100	$\pm 2\%$	$\pm 0.25 \text{ pF}$	250 V	4 V
Naranja	3	3	1000	$\pm 3\%$	—	—	40 V
Amarillo	4	4	10 000	—	—	400 V	6.3 V
Verde	5	5	100 000	$\pm 5\%$	$\pm 0.5 \text{ pF}$	—	18 V
Azul	6	6	1 000 000	—	—	630 V	—
Violeta	7	7	10 000 000	—	—	—	—
Gris	8	8	0,01	—	—	—	25 V
Blanco	9	9	0,1	$\pm 10\%$	$\pm 1 \text{ pF}$	—	2,5 V

Negro = 20 %.  
Rojo = 250 V.

Es un condensador de 56 000 pF = 56 nF, 20 % de tolerancia y 250 V de tensión de trabajo máxima.

Algunos condensadores del tipo de dieléctrico de plástico indican sus características de forma codificada, mostrando tres datos:

- **Valor.** Si es un número con punto decimal indica que va expresado en microfaradios ( $\mu\text{F}$ ), en caso contrario iría expresado en picofaradios (pF).
- **Tolerancia.** Indicada mediante una letra. Los códigos de tolerancias más comunes son:

Tabla 2.13. Código de tolerancias

Letra	Tolerancia
D	$\pm 0.5\%$
F	$\pm 1\%$
G	$\pm 2\%$
H	$\pm 2.5\%$
J	$\pm 5\%$
K	$\pm 10\%$
M	$\pm 20\%$

• **Tensión máxima de trabajo.** No se debe superar, pues se perforaría el dieléctrico, dejando inservible al condensador.

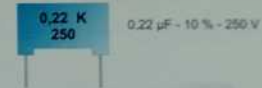


Figura 2.29. Ejemplo de codificación.

#### Recuerda:

Los submúltiplos empleados con los condensadores son:

- 1 F =  $1 \cdot 10^3$  mF (milifaradios).
- 1 F =  $1 \cdot 10^6$   $\mu\text{F}$  (microfaradios).
- 1 F =  $1 \cdot 10^9$  nF (nanofaradios).
- 1 F =  $1 \cdot 10^{12}$  pF (picofaradios).

#### Actividad resuelta 2.8

Un condensador tiene marcado el código 0,027 K 2G. ¿Qué indica este código?

**Solución:**

0,027  $\mu\text{F}$  = 27 nF de capacidad.  
 K = 10 % de tolerancia.  
 2G = 400 V de tensión máxima de trabajo.

Existe otra codificación llamada **código 101**, alternativa a las bandas de colores, la cual se indica mediante un número de tres cifras, siendo las dos primeras las cifras que forman el valor y la tercera el número de ceros a añadir.

En ocasiones, en vez de indicar directamente la tensión, se indica mediante el siguiente código:

Tabla 2.14. Código de tensión para condensadores ( $V_{\text{m}}$ )

Código	Tensión	Código	Tensión	Código	Tensión
0G	4 V	1K	80 V	2E	250 V
0L	5,5 V	2A	100 V	2F	315 V
0J	6,3 V	2Q	110 V	2V	350 V
1A	10 V	2B	125 V	2G	400 V
1C	16 V	2C	160 V	2W	450 V
1E	25 V	2Z	180 V	2H	500 V
1H	50 V	2D	200 V	2J	630 V
1J	63 V	2P	220 V	3A	1000 V

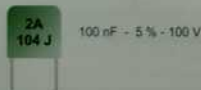


Figura 2.10. Ejemplo de codificación 101.

**Actividad resuelta 2.10**

Un condensador tiene marcado el código 471 y otro el 473. ¿Qué indican estos valores?

**Solución:**

Las dos primeras cifras indican el valor y la tercera el multiplicador:

471  $\rightarrow$  470 pF

473  $\rightarrow$  47 000 pF = 47 nF

**2.4.3. Simbología**

Un condensador se representa por los símbolos de la Tabla 2.16 y se expresa por la letra C. Se define por la **capacidad** (C) cuya unidad de medida es el **faradio** (F), pero al ser un valor muy alto se emplean los submúltiplos de milifaradio (mF; 1mF =  $10^{-3}$  F) y microfaradio ( $\mu\text{F}$ ; 1  $\mu\text{F}$  =  $10^{-6}$  F).

Tabla 2.15. Condensador

Componente	Unidad de medida
C Condensador	F Faradio

Tabla 2.16. Simbología del condensador

	Condensador
	Condensador con polaridad
	Condensador ajustable

**2.4.4. Asociación de condensadores**

Los condensadores se pueden asociar en serie, paralelo o de forma mixta, variando el valor total de la capacidad. En estos casos tenemos que:

- **Asociación en paralelo.** La capacidad total es la suma de las capacidades de cada condensador.
- **Asociación en serie.** La inversa de la capacidad total es la suma de las inversas de cada una de las capacidades de la asociación.
- **Asociación mixta.** En el circuito se encuentran condensadores conectados en serie y en paralelo. Se resuelve simplificando el circuito.

Tabla 2.17. Asociación de condensadores

Asociación	Equivalente	Valor
		$C_T = C_1 + C_2$
		$\frac{1}{C_T} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{C_n}; C_T = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$
		$C_T = \frac{C_1 \cdot (C_2 + C_3)}{C_1 + (C_2 + C_3)}$

**Actividad resuelta 2.11**

¿Cuál es la capacidad total del circuito serie de la figura, sabiendo que  $C_1 = 75 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 50 \mu\text{F}$  y  $C_3 = 20 \mu\text{F}$ ?

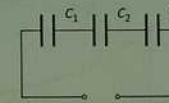


Figura 2.31. Circuito serie.

**Solución:**

Al estar en serie:

$$\frac{1}{C_T} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{C_n} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{75} + \frac{1}{50} + \frac{1}{20} = \frac{4 + 6 + 15}{300} = \frac{25}{300} = \frac{1}{12}$$

$$C_T = 12 \mu\text{F}$$

Otra forma es realizar el circuito serie de dos en dos, así se obtiene:

$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{75 \cdot 50}{75 + 50} = 30 \mu\text{F}$$

$$C_T = \frac{C_{12} \cdot C_3}{C_{12} + C_3} = \frac{30 \cdot 20}{30 + 20} = 12 \mu\text{F}$$

**Actividad resuelta 2.12**

¿Cuál es la capacidad total del circuito paralelo de la figura, sabiendo que  $C_1 = 75 \mu\text{F}$  y  $C_2 = 50 \mu\text{F}$ ?

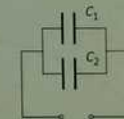


Figura 2.12. Circuito paralelo.

**Solución:**

Al estar en paralelo ambos condensadores, sus capacidades se suman:

$$C_T = C_1 + C_2 = 75 \mu\text{F} + 50 \mu\text{F} = 125 \mu\text{F}$$

**2.4.5. Carga y descarga de un condensador**

Un condensador está constituido por dos armaduras metálicas y separadas por un aislante. Esta constitución física hace pensar que no puede circular la corriente a través de él. Sin embargo, en el caso de una corriente variable, el condensador está en continuo proceso de carga y descarga y comportándose como si circulara corriente a través de él.

La Figura 2.33 representa el esquema de un circuito para analizar el proceso de carga y descarga de un condensador a través de una resistencia.

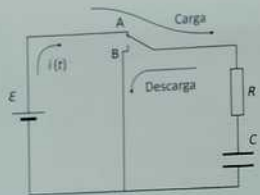


Figura 2.33. Circuito de carga y descarga del condensador.

Para analizar el proceso de carga se coloca el interruptor en la posición A. Inicialmente, el condensador está descargado y se conecta a una fuente de tensión continua. Se inicia el proceso de carga del condensador cuya diferencia de potencial en sus armaduras en el primer instante es de 0 V y aumenta siguiendo una curva exponencial cuya expresión matemática es la siguiente:

$$V_C(t) = \varepsilon (1 - e^{-t/(R \cdot C)})$$

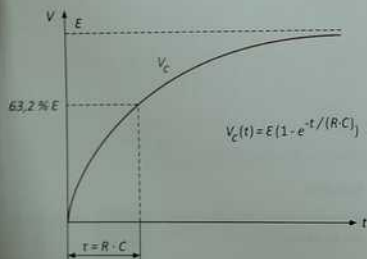


Figura 2.34. Curva de carga de un condensador.

Con la corriente ocurre lo contrario, en el primer instante la corriente es máxima y va disminuyendo conforme el condensador se carga.

Al cabo del tiempo obtenido de multiplicar el valor de la resistencia (en ohmios) por la capacidad del condensador (en faradios) este se ha cargado el 63,2 %. A este valor se le llama **constante de tiempo** y se representa por la letra  $\tau$ , y

el valor obtenido va expresado en segundos. Esta constante de tiempo representa la velocidad de carga.

$$\tau = R \cdot C$$

El condensador estará completamente cargado cuando  $t = \infty$ , pero se considera cargado cuando ha transcurrido  $5\tau$ , en este caso se habrá cargado al 99,33 %. Una vez cargado no circula ninguna corriente, comportándose como un circuito abierto.

Para el proceso de descarga el conmutador se sitúa en la posición B. El condensador está cargado y desconectado de la fuente de alimentación, así que comenzará a descargarse a través de la resistencia. El proceso de descarga sigue una curva exponencial decreciente según la expresión:

$$V_C(t) = \varepsilon \cdot e^{-t/(R \cdot C)}$$

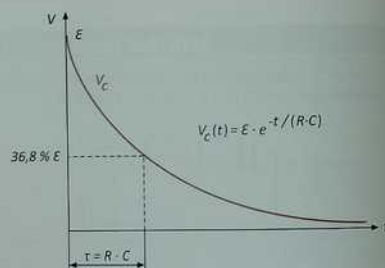


Figura 2.35. Curva de descarga de un condensador.

**Actividad resuelta 2.13**

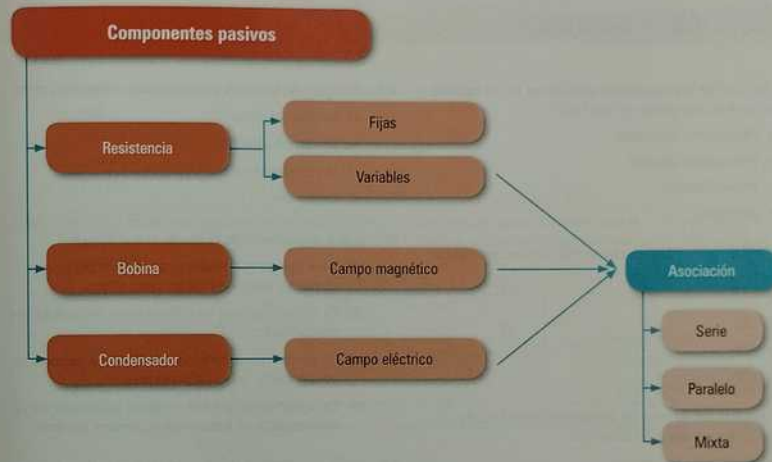
Un condensador de 10  $\mu\text{F}$  está conectado a una fuente de tensión junto con una resistencia en serie de 120 k $\Omega$ . ¿Cuál es la constante de tiempo? ¿En cuánto tiempo se habrá cargado el condensador?

**Solución:**

La constante de tiempo es de:

$$\tau = R \cdot C = 120 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1,2 \text{ s}$$

Y se considera cargado con:  $5\tau = 5 \cdot 1,2 = 6 \text{ s}$





Actividades de comprobación

- 2.1. ¿En cuál de los siguientes elementos no es posible cambiar su resistencia a voluntad?
- Resistencia bobinada.
  - Resistencia variable.
  - Potenciometro.
  - Reostato.
- 2.2. ¿Cuál de los siguientes elementos varía su resistencia en función de la luz?
- PTC.
  - NTC.
  - VDR.
  - LDR.
- 2.3. ¿Qué tipo de resistencia emplearías cuando esta necesita disipar una gran potencia?
- Resistencia de carbón.
  - Resistencia bobinada.
  - Resistencia de óxido metálico.
  - Resistencia de película metálica.
- 2.4. En una asociación de resistencias:
- Si es en serie, su resistencia equivalente es mayor que la mayor de las resistencias que componen la asociación.
  - Si es en serie, su resistencia equivalente es menor que la menor de las resistencias que componen la asociación.
  - Si es en paralelo, su resistencia equivalente es mayor que la mayor de las resistencias que componen la asociación.
  - Si es en paralelo, su resistencia equivalente es mayor que la menor de las resistencias que componen la asociación.
- 2.5. El coeficiente de autoinducción de una bobina se mide en:
- Vatios.
  - Microfaradios.
  - Henrios.
  - Culombios.
- 2.6. En corriente continua una bobina se comporta como:
- Un cortocircuito.
  - Un circuito abierto.
  - Un condensador.
  - Un fusible.
- 2.7. ¿Qué es el dieléctrico?
- Es el tipo de material que se emplea para confeccionar las placas de los condensadores.
  - Es el material que se coloca entre las placas del condensador.
  - Es el valor de la tensión máxima que soporta un condensador antes de perforarse.
  - Es la distancia que deben tener las placas de un condensador en función de su tensión máxima.
- 2.8. ¿Qué significa que un condensador es de tipo electrolítico?
- Que tiene polaridad.
  - Que sus armaduras se someten a un proceso de electrólisis durante su fabricación.
  - Que el dieléctrico se ha sometido a un proceso reductor higroscópico.
  - Que tiene forma cilíndrica.
- 2.9. ¿Cuál es la unidad de medida de la capacidad de un condensador?
- Voltios.
  - Faradios.
  - Henrios.
  - Amperios.
- 2.10. ¿Cuándo se considera que un condensador ha cargado completamente?
- Cuando ha alcanzado el 63,2 % de su carga.
  - Cuando ha alcanzado el 85 % de su carga.
  - Cuando ha alcanzado un tiempo del producto de la resistencia por la capacidad.
  - Cuando ha alcanzado un tiempo de cinco veces el producto de la resistencia por la capacidad.

Actividades de aplicación

- 2.11. Determina las bandas de colores para las resistencias siguientes:
- 120  $\Omega$ .
  - 33 k $\Omega$ .
  - 560 k $\Omega$ .
  - 6,8 M $\Omega$ .
- 2.12. Calcula la resistencia equivalente entre los puntos A y B del circuito dado, sabiendo que  $R_1 = 3 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ,  $R_3 = 7 \Omega$ ,  $R_4 = 5 \Omega$ ,  $R_5 = 2 \Omega$ ,  $R_6 = 6 \Omega$ ,  $R_7 = 2 \Omega$  y  $R_8 = 3 \Omega$ ,  $V = 12 \text{ V}$ . Calcula la corriente y la tensión en cada resistencia, así como la potencia total.

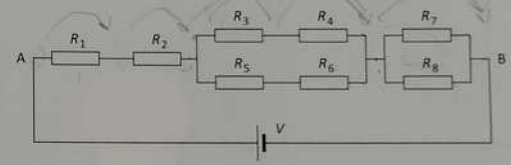


Figura 2.36.

- 2.13. Calcula la resistencia equivalente entre los puntos A y B del circuito dado, sabiendo que  $R_1 = 6 \Omega$ ,  $R_2 = 4 \Omega$ ,  $R_3 = 3,6 \Omega$ ,  $R_4 = 5 \Omega$ ,  $R_5 = 20 \Omega$ ,  $R_6 = 10 \Omega$  y  $R_7 = 20 \Omega$ ,  $V_{AB} = 24 \text{ V}$ . Calcula la corriente y la tensión en cada resistencia, así como la potencia total.

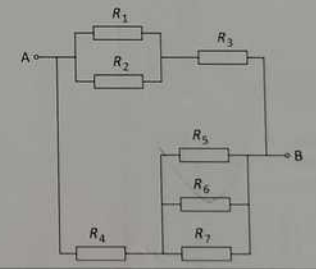


Figura 2.37.

- 2.14. Determina la resistencia comercial del circuito equivalente (código de colores y potencia), sabiendo que  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 15 \text{ k}\Omega$  y  $R_4 = 15 \text{ k}\Omega$  y está conectada a una fuente de tensión de  $E = 24 \text{ V}$ . Si la tensión de la fuente sube a 90 V, ¿cuál debe ser la potencia de la resistencia equivalente?

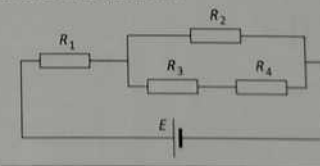


Figura 2.38.

- 2.15. Calcula la bobina equivalente del circuito dado, sabiendo que  $L_1 = 8 \text{ H}$ ,  $L_2 = 7 \text{ H}$ ,  $L_3 = 42 \text{ H}$  y  $L_4 = 2 \text{ H}$ .

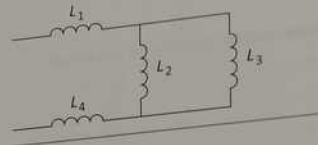


Figura 2.39.

- 2.16. Calcula la bobina equivalente del circuito dado, sabiendo que  $L_1 = 7 \text{ H}$ ,  $L_2 = 3 \text{ H}$ ,  $L_3 = 6 \text{ H}$ ,  $L_4 = 4 \text{ H}$ ,  $L_5 = 1 \text{ H}$ ,  $L_6 = 2 \text{ H}$  y  $L_7 = 3 \text{ H}$ .

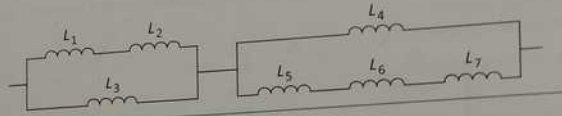


Figura 2.40.

- 2.17. Calcula la capacidad equivalente del circuito dado, sabiendo que  $C_1 = 50 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 25 \mu\text{F}$ ,  $C_3 = 50 \mu\text{F}$  y  $C_4 = 10 \mu\text{F}$ .

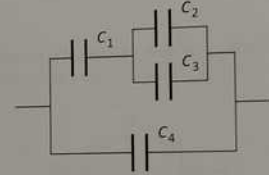


Figura 2.41.

- 2.18. Calcula la capacidad equivalente del circuito dado, sabiendo que  $C_1 = 3 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 1 \mu\text{F}$ ,  $C_3 = 2 \mu\text{F}$ ,  $C_4 = 4 \mu\text{F}$ ,  $C_5 = 1 \mu\text{F}$ ,  $C_6 = 3 \mu\text{F}$  y  $C_7 = 5 \mu\text{F}$ .
- 2.19. Determina los tiempos de carga y descarga del condensador del circuito dado, sabiendo que  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 220 \text{ k}\Omega$  y  $C = 1 \mu\text{F}$ .

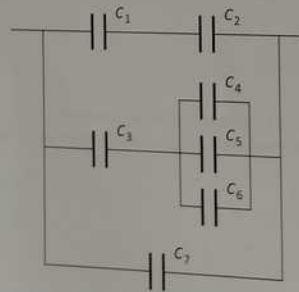


Figura 2.42.

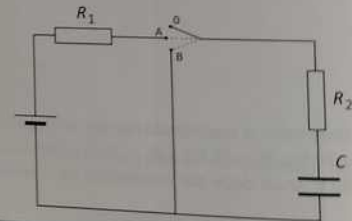


Figura 2.43.