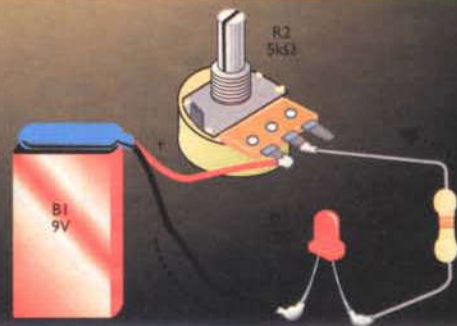
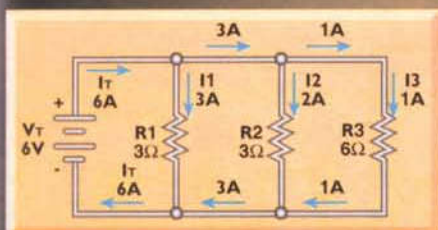
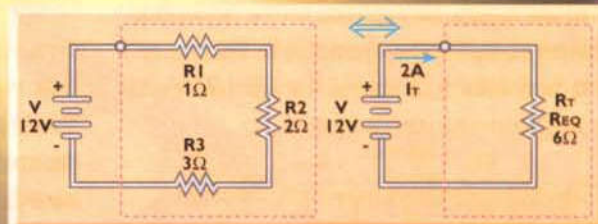
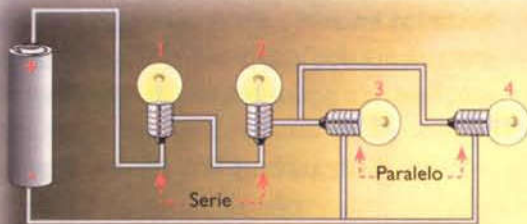


Lección 5

Circuitos en serie, paralelo y mixtos

En la mayoría de circuitos eléctricos y electrónicos prácticos, una misma fuente debe alimentar dos o más cargas, las cuales pueden estar conectadas en serie, en paralelo o en una configuración mixta. En esta lección estudiaremos las características generales de estos tipos de circuitos. Es importante que usted conozca y se familiarice con sus propiedades para entender como operan otros circuitos más complejos, como por ejemplo amplificadores, osciladores, filtros, etc.



Introducción

Los circuitos eléctricos examinados hasta el momento constan básicamente de una fuente de alimentación y una carga. En la práctica, puede haber más de una carga conectada a la fuente de alimentación. Dependiendo de la forma como estén conectadas las cargas entre sí y con respecto a la fuente, se habla de circuitos en **serie**, en **paralelo** y **mixtos**, también llamados **serie-paralelo**.

Un **circuito en serie** se forma cuando se conectan dos o más cargas a una fuente, de modo que solo exista una trayectoria para la circulación de la corriente. Para ello, es necesario que las cargas estén conectadas una tras otra a la fuente de alimentación, formando una cadena, **figura 5.1**.

En este caso, la corriente de electrones que sale por el polo negativo (-) de la pila circula primero por la bombilla 1, a continuación por la bombilla 2 y luego por la bombilla 3, ingresando nuevamente por el polo positivo (+). Si se interrumpe, por ejemplo, la corriente a través de la bombilla 2, también se interrumpe la corriente a través de las bombillas 1 y 3.

Un **circuito en paralelo** se forma cuando se conectan dos o más cargas a una misma fuente, de modo que existe más de una trayectoria para la circulación de la corriente, **figura 5.2**. En este caso, la corriente de la pila se reparte entre las bombillas. Si se interrumpe, por ejemplo, la corriente a través de la bombilla 1, la corriente a través de las bombillas 2 y 3 no se interrumpe.

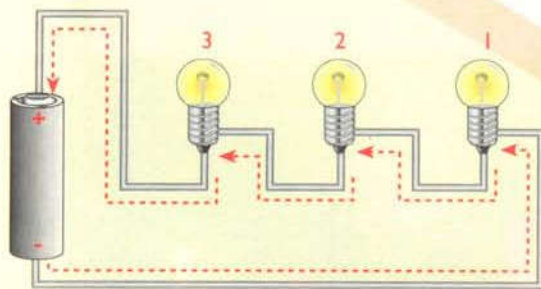


Figura 5.1. Ejemplo de un **circuito en serie**. Las flechas muestran la dirección del flujo de electrones (corriente real). Note que solo existe una trayectoria cerrada para la circulación de la corriente.

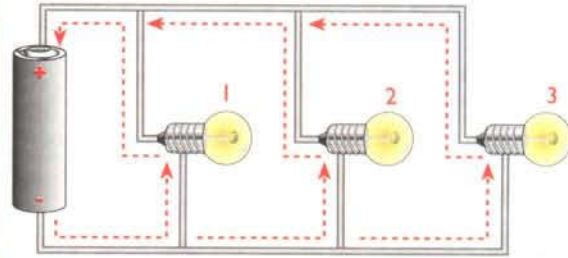


Figura 5.2. Ejemplo de un **circuito en paralelo**. Nuevamente, las flechas indican la dirección del flujo de electrones (corriente real). Cada carga proporciona una trayectoria cerrada para la circulación de la corriente.

Un **circuito mixto** se forma por la combinación de cargas en serie y en paralelo, **figura 5.3**. En este caso si se interrumpe, por ejemplo, la corriente a través de la bombilla 1, también se interrumpe la corriente a través de las otras tres bombillas. Sin embargo, si solo se retira la bombilla 3, las bombillas 1, 2 y 4 siguen encendidas. Lo único que cambia es el nivel de brillo de cada una.

Las ideas anteriores son también aplicables a otros componentes eléctricos y electrónicos. En la **figura 5.4** se muestra, como ejemplo, una resistencia variable, una resistencia fija y un LED conectados en **serie**. En esta lección examinaremos únicamente los casos relacionados con resistencias, baterías, condensadores y bobinas.

Circuitos en serie con resistencias

En la **figura 5.5** se muestra un circuito formado por tres resistencias (R_1 , R_2 , R_3) conectadas en **serie**. También se indican los conductores que conectan las resistencias entre sí y con la fuente. Apliquemos a este circuito las características generales de los circuitos en serie examinadas anteriormente:

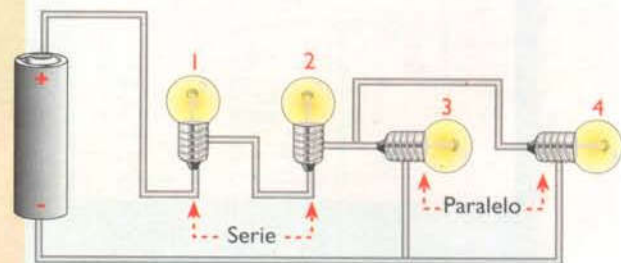


Figura 5.3. Ejemplo de un **circuito mixto** o en serie- paralelo

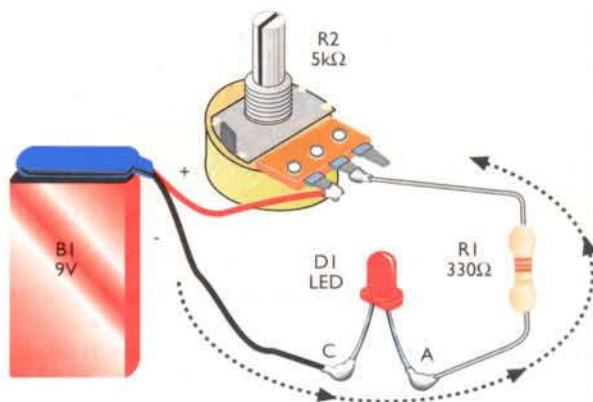


Figura 5.4 Ejemplo de conexión de componentes electrónicos en serie. En este caso, el potenciómetro regula la cantidad de corriente que circula por el circuito y, por tanto, controla el nivel de brillo del LED.

1. Todos los elementos del circuito, incluida la fuente, están conectados uno después de otro, a través de los conductores, formando una cadena. En este caso, el polo positivo (+) de la batería está conectado a un extremo de R1, el otro extremo de R1 a un extremo de R2, el otro extremo de R2 a un extremo de R3, y el otro extremo de R3 al polo negativo (-) de la batería, cerrándose el circuito.
2. Solo existe una trayectoria para la circulación de la corriente. Si el circuito se abre o se rompe en cualquier punto, por ejemplo en el conductor «b» o en la resistencia «R3», todo el circuito queda desconectado y no circula corriente a través de ningún elemento.

Esta última característica es muy empleada para controlar y proteger sistemas eléctricos y electrónicos. Por esta razón, los dispositivos como interruptores y fusibles se conectan siempre en serie con los circuitos. Otro ejemplo muy común de cargas conectadas en serie son las lámparas

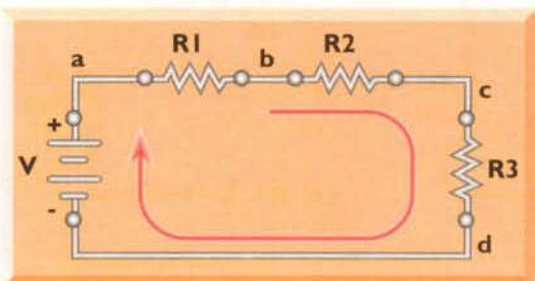


Figura 5.5. Circuito en serie con tres cargas resistivas

ornamentales, como las utilizadas en los árboles de Navidad. Usted seguramente habrá notado que cuando se funde o retira una de estas bombillitas, también dejan de iluminar todas las demás, o un grupo de ellas. Esto se debe a que están conectadas en serie con la bombilla faltante o defectuosa.

Corriente en un circuito en serie

Debido a que en los circuitos en serie solo se tiene una trayectoria para la circulación de la corriente, la cantidad de electrones que pasan por un punto del circuito es la misma en cualquier otro punto. Por tanto, **la corriente a través de los elementos de un circuito en serie es siempre la misma, figura 5.6.**

En este caso, la corriente (I) a través del conductor «a» es la misma corriente que pasa a través de los conductores «b», «c» y «d»; las resistencias R1, R2 y R3; y la fuente V. En todos estos casos, el valor de la corriente a través del circuito es 2A.

Voltajes en un circuito en serie

El voltaje total aplicado por la fuente a un circuito en serie se distribuye a través de cada una de las cargas, de modo que entre más baja sea su resistencia, menor será el voltaje a través suyo, y viceversa. Esta situación se ilustra en la **figura 5.7.**

En este caso, sobre cada carga aparece un voltaje (V_1, V_2 o V_3) cuyo valor depende de su resistencia (R1, R2 o R3) y de la corriente a través suyo

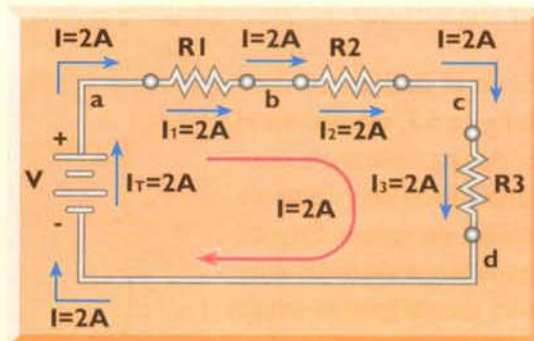


Figura 5.6. Distribución de la corriente en un circuito en serie. Solo existe una trayectoria para la circulación de la corriente. Por tanto, todos sus elementos son atravesados por la misma corriente.

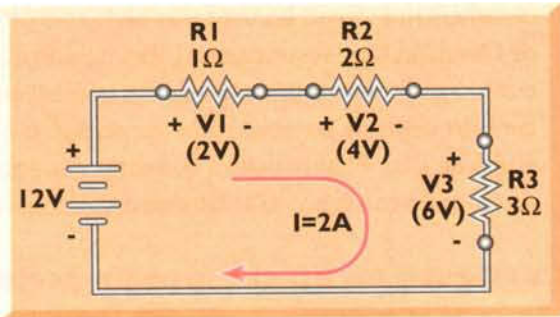


Figura 5.7. División del voltaje en un circuito en serie

(I), que es la misma en todo el circuito. El voltaje sobre cada resistencia se denomina una **caída de voltaje**. Veamos entonces como se distribuyen estas caídas de voltaje a través del circuito.

De acuerdo con la ley de Ohm, la caída de voltaje a través de cualquier carga es igual al producto de su corriente por su resistencia. Por tanto, en nuestro caso, tenemos las siguientes relaciones:

Voltaje	=	Corriente	x	Resistencia	
V1	=	2A	x	1Ω	= 2V
V2	=	2A	x	2Ω	= 4V
V3	=	2A	x	3Ω	= 6V
Suma de caídas	=			V1 + V2 + V3	= 12V

Observe que la suma de las caídas de voltaje a través de cada resistencia es igual al voltaje aplicado al circuito. Este resultado, que examinaremos en detalle en una lección posterior, se conoce como la **ley de voltajes de Kirchoff (LVK)**.

Si en el circuito en serie de la figura 5.7, cambiamos el valor de una resistencia, cambiarán también los valores de las caídas de voltaje. Sin embargo, la suma de todas ellas seguirá siendo igual al voltaje aplicado. Esta situación se ilustra en la **figura 5.8**, donde la resistencia de 1Ω (R1) ha sido sustituida por una de 7Ω.

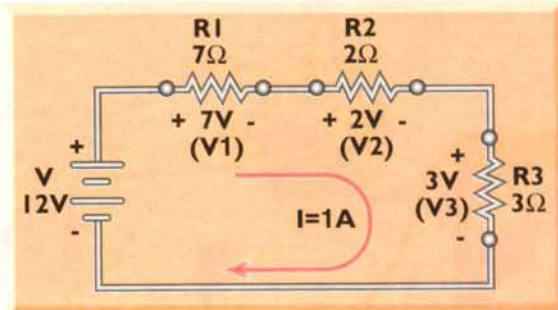


Figura 5.8. En un circuito serie, la suma de las caídas de voltaje en cada resistencia es siempre igual al voltaje aplicado.

Resistencia total o equivalente de un circuito en serie

En un circuito cualquiera (serie, paralelo o mixto), la corriente entregada por la fuente depende de la resistencia total o equivalente (R_T ó R_{EQ}) que le presenten en conjunto todas las cargas. En un circuito en serie, en particular, esta resistencia es igual a la suma de todas las resistencias individuales del circuito. Esta situación se ilustra en la **figura 5.9**. En este caso:

Resistencia total	=	Suma de las resistencias individuales
R_T	=	$R1 + R2 + R3$
R_T	=	$1\Omega + 2\Omega + 3\Omega$
R_T	=	6Ω

En otras palabras, la fuente considera todo el conjunto de cargas como una sola resistencia, de valor R_T (6Ω). Por esta razón, impulsa a través del circuito una corriente I de valor igual a v/R_T ($12V/6\Omega$), que es la misma para todos los elementos del circuito. En nuestro caso, tenemos:

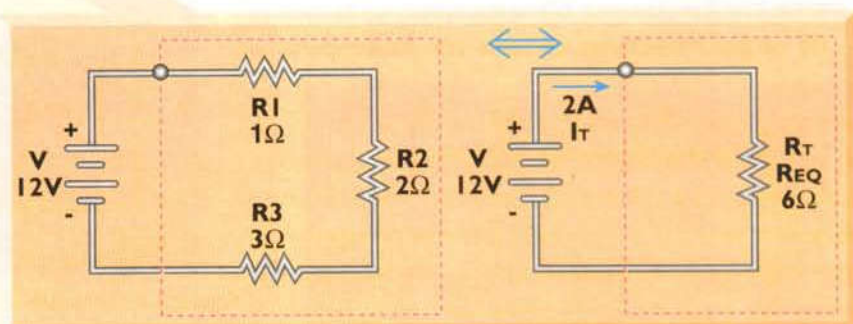


Figura 5.9. Resistencia equivalente de un circuito en serie. La resistencia equivalente del circuito es la suma de las resistencias

Corriente total	=	Voltaje aplicado	÷	Resistencia total
I_T	=	V	÷	R_T
I_T	=	$12V$	÷	$6\Omega = 2A$

En el cálculo de la resistencia total (R_T) de un circuito en serie se nos pueden presentar las siguientes situaciones particulares:

1. El circuito está formado por dos o más resistencias del mismo valor (R). En este caso, la resistencia total (R_T) está dada por:

R_T	=	Número de resistencias	x	Valor de una resistencia
R_T	=	n	x	R

2. El circuito está formado por dos o más resistencias de diferente valor (R_1, R_2, R_3 , etc.). En este caso, que es el más general, la resistencia total (R_T) está dada por:

R_T = Suma de los valores de cada resistencia

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Por ejemplo, si tenemos ocho resistencias de $1k\Omega$ conectadas en serie, la resistencia total es $R_T = n \times R = 8 \times 1k\Omega = 8k\Omega$. Así mismo, si tenemos dos resistencias de 100Ω conectadas en serie con una resistencia de 470Ω y una resistencia de 820Ω , la resistencia total es $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 100\Omega + 100\Omega + 470\Omega + 820\Omega = 1.490\Omega$. De cualquier modo, tenga siempre presente esta regla práctica:

“La resistencia total o equivalente de un grupo de resistencias conectadas en serie es siempre mayor que la mayor de las resistencias”.

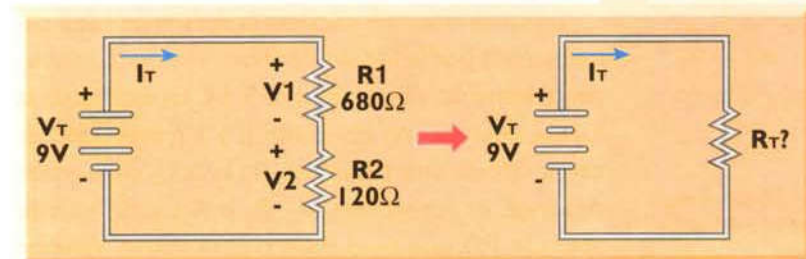


Figura 5.10. Resistencias en serie para el ejemplo 5.1

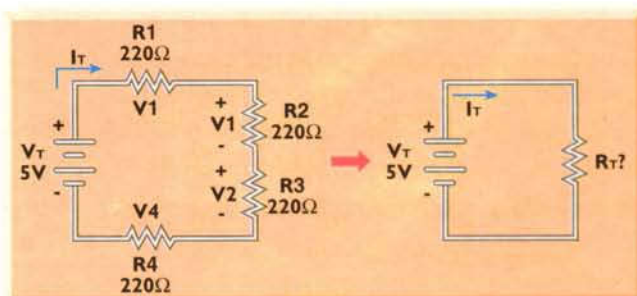


Figura 5.11. Figura para el ejemplo 5.2

En nuestro segundo caso, por ejemplo, 1.490Ω (R_T) es mayor que 820Ω , la resistencia más alta del circuito. Los siguientes ejemplos aclararán el uso de estas fórmulas. El **experimento 5.1** fijará de manera práctica los conocimientos adquiridos.

Ejemplo 5.1. Dos resistencias de 680Ω y 120Ω están conectadas en serie con una batería de $9V$, como se muestra en la **figura 5.10**. Calcule:

- a. La resistencia total del circuito (R_T)
- b. La corriente a través del circuito (I_T)
- c. Las caídas de voltaje en las resistencias (V_1, V_2)
- d. Demuestre que la suma de las caídas de voltaje anteriores es igual al voltaje aplicado (V_T)

Solución. En nuestro caso, $V=9V$, $R_1=680\Omega$ y $R_2=120\Omega$. Por tanto:

- a. $R_T = R_1 + R_2 = 680\Omega + 120\Omega = 800\Omega$
- b. $I_T = V/R_T = 9V/800\Omega = 0,01125A = 11,25mA$
- c. $V_1 = I_T \times R_1 = 0,01125A \times 680\Omega = 7,65V$
 $V_2 = I_T \times R_2 = 0,01125A \times 120\Omega = 1,35V$
- d. $V_1 + V_2 = V_T$
 $7,65V + 1,35V = 9V$
 $12V = 9V$

Ejemplo 5.2. Cuatro resistencias de 220Ω se conectan en serie con una fuente de $5V$, como se indica en la **figura 5.11**. Calcule:

- a. La resistencia total (R_T)
- b. La corriente total (I_T)
- c. Las caídas de voltaje ($V_1 \dots V_4$)

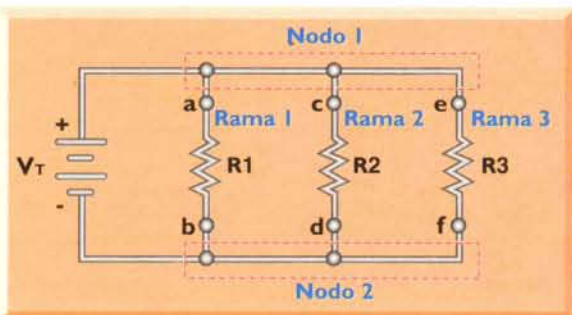


Figura 5.12. Circuito en paralelo con tres cargas resistivas

Solución. En nuestro caso, $V=5V$, $R_1=R_2=R_3=R_4=R=220\Omega$ y $n=4$. Por tanto:

- $R_T = n \times R = 4 \times 250\Omega = 1.000\Omega$
- $I_T = V/R_T = 5V/1.000\Omega = 0,005A = 5mA$
- $V_1=V_2=V_3=V_4 = I \times R = 0,005A \times 250\Omega = 1,25V$

Circuitos en paralelo con resistencias

En la **figura 5.12** se muestra un circuito formado por tres resistencias conectadas en **paralelo**. Apliquemos a este circuito las características de los circuitos en paralelo examinadas anteriormente:

1. Todas las cargas están conectadas simultáneamente a los terminales de la fuente de alimentación. Las cargas y sus alambres de conexión a la fuente se denominan comúnmente **ramas**. Los puntos comunes de conexión de las ramas con la fuente se denominan **nodos**. En este caso, tenemos tres ramas y dos nodos. La rama 1, por ejemplo, está formada por la resistencia R_1 y los conductores "a" y "b".

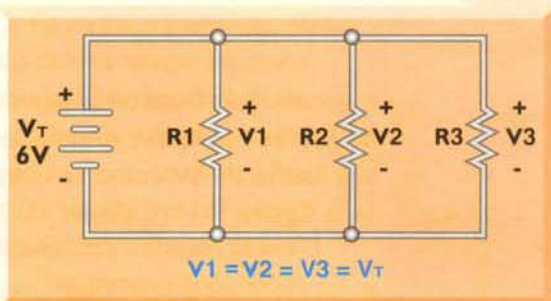


Figura 5.13. Distribución del voltaje en un circuito en paralelo. En este caso, se tiene el mismo voltaje entre todas las ramas

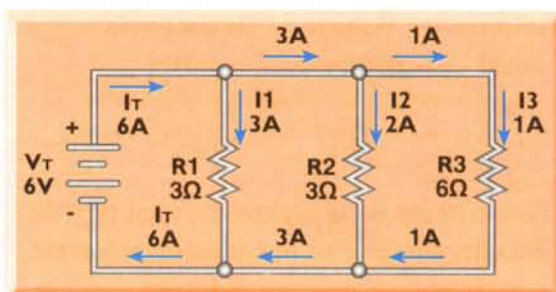


Figura 5.14. División de la corriente en un circuito en paralelo. La corriente total es igual a la suma de las corrientes en las ramas

2. Existe más de una trayectoria para la circulación de la corriente. Si el circuito se abre o se rompe en cualquier punto de una rama, por ejemplo en el conductor «b» o en la resistencia « R_1 » de la rama 1, todas las demás ramas continúan operando en forma normal.

Esta última característica es muy empleada en las instalaciones eléctricas para permitir la operación de lámparas y electrodomésticos al mismo voltaje, digamos 120V, así como su conexión y desconexión de manera independiente. De hecho, la mayor parte de los circuitos eléctricos utilizados en las casas, fábricas y oficinas para alimentar computadoras, máquinas, etc. son circuitos en paralelo.

Voltaje en un circuito en paralelo

En un circuito en paralelo todas las ramas están conectadas a la fuente. Por tanto, el voltaje aplicado a todas las cargas es el mismo, **figura 5.13**. En este caso las caídas de voltaje sobre R_1 (V_1), R_2 (V_2) y R_3 (V_3) son idénticas e iguales al voltaje de alimentación. Es decir, $V_1=V_2=V_3=V_T=6V$.

Distribución de la corriente en un circuito en paralelo

En un circuito en paralelo la corriente total suministrada por la fuente de alimentación (I_T) se reparte entre las ramas, **figura 5.14**. En este caso, la fuente entrega una corriente I_T y a través de cada carga circula una corriente (I_1 , I_2 o I_3) cuyo valor depende su resistencia (R_1 , R_2 o R_3) y del voltaje aplicado (V), que es el mismo para todas. Veamos entonces como se distribuyen estas corrientes.

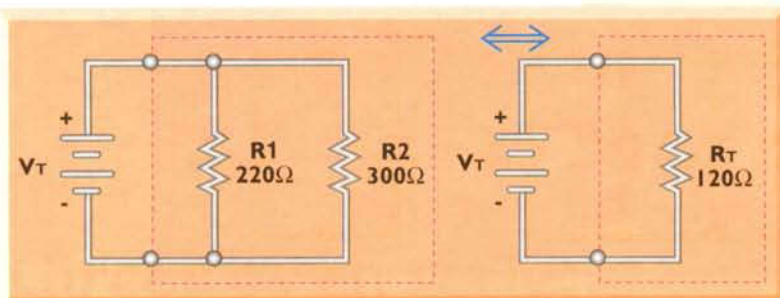


Figura 5.15 Resistencia total de un circuito en paralelo formado por dos resistencias de valores diferentes

De acuerdo con la ley de Ohm, la corriente a través de cualquier carga es igual a la relación entre el voltaje aplicado y su resistencia. Por tanto, en nuestro caso, tenemos las siguientes relaciones:

Corriente	=	Voltaje	÷	Resistencia	
I_1	=	6V	÷	2Ω	= 3A
I_2	=	6V	÷	3Ω	= 2A
I_3	=	6V	÷	6Ω	= 1A
Suma de corrientes	=	$I_1 + I_2 + I_3$			= 6A

Observe que la suma de las corrientes a través de las resistencias, es igual a la corriente total entregada por la fuente (6A). Este resultado se conoce como la **ley de corrientes de Kirchoff** (LCK). Note también que a medida que se conectan nuevas cargas a un circuito en paralelo, aumenta también la corriente entregada por la fuente.

Esta última es la razón por la cual se quema un fusible o se dispara un disyuntor (*breaker*) en una instalación eléctrica cuando se conectan demasiadas

lámparas o aparatos en los tomacorrientes. En este caso, conforme se añaden cargas y aumenta la demanda de corriente, llega un momento en el cual la corriente total supera la capacidad nominal del fusible o *breaker*, y éste se funde o dispara, desconectando el circuito. Se dice, entonces, que ha ocurrido una **sobrecarga** o que el circuito está **sobrecargado**.

Resistencia total o equivalente de un circuito en paralelo

En un circuito en paralelo, la corriente total entregada por la fuente depende de la resistencia total o equivalente (R_T o R_{EQ}) ofrecida por el conjunto de cargas. Esta resistencia puede calcularse de las siguientes formas:

1. Si el circuito está formado por dos resistencias diferentes (R_1 y R_2), la resistencia total es:

$$R_T = \frac{\text{Producto de las resistencias}}{\text{Suma de las resistencias}}$$

$$R_T = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$$

En la **figura 5.15** se muestra un ejemplo. En este caso, $R_1=200\Omega$ y $R_2=300\Omega$. Por tanto:

$$R_T = (R_1 R_2) / (R_1 + R_2)$$

$$R_T = (200 \times 300) / (200 + 300) \Omega$$

$$R_T = 60.000 / 500 \Omega$$

$$R_T = 120 \Omega$$

2. Si el circuito está formado por una resistencia de valor $R_1=R$ en paralelo con otra de valor $R_2=R/n$, es decir n veces menor, la resistencia total es:

$$R_T = \frac{\text{Resistencia mayor}}{1 + \text{número de veces}}$$

$$R_T = R / 1 + n$$

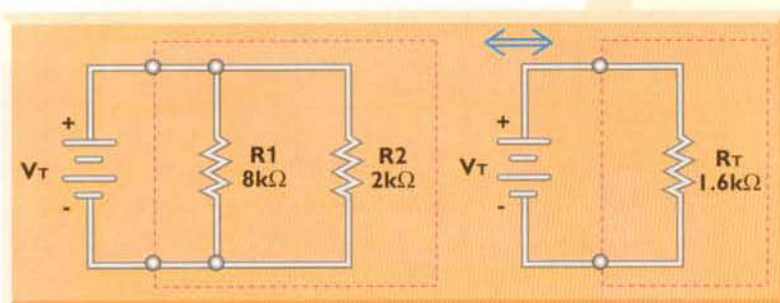


Figura 5.16. Resistencia total de un circuito en paralelo formado por dos resistencias de valores múltiples

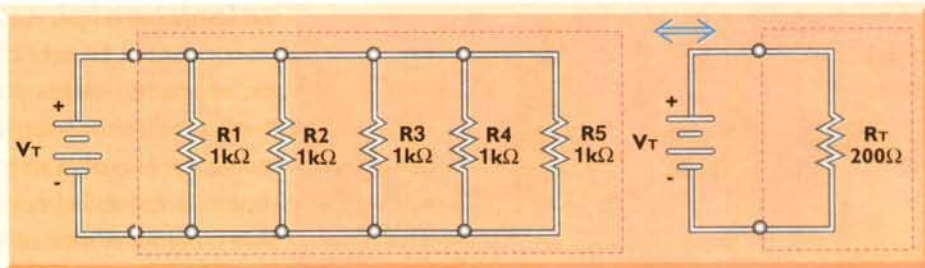


Figura 5.17. Resistencia total de un circuito en paralelo formado por resistencias del mismo valor.

En la figura 5.16 se muestra un ejemplo. En este caso, $R_1 = 8k\Omega = R$ y $R_2 = 2k\Omega = R/4$. Es decir, $R = 8k\Omega$ y $n = 4$. Por tanto:

$$\begin{aligned} R_T &= R/(n+1) \\ R_T &= 8k\Omega/(4+1) \\ R_T &= 8k\Omega/5 \\ R_T &= 1,6k\Omega \end{aligned}$$

3. Si el circuito está formado por dos o más resistencias del mismo valor (R), la resistencia total es:

$$R_T = \frac{\text{Valor de una resistencia}}{\text{Número de resistencias}}$$

$$R_T = R/n$$

En la figura 5.17 se muestra un ejemplo. En este caso, hay cinco resistencias idénticas ($n = 5$), cuyos valores son $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R = 1k\Omega$. Por tanto:

$$\begin{aligned} R_T &= R/5 = 1k\Omega/5 \\ R_T &= 0,2k\Omega = 200\Omega \end{aligned}$$

4. Si el circuito está formado por dos o más resistencias de diferente valor (R_1, R_2, R_3, \dots), la resistencia total es:

$$R_T = \frac{1}{\text{Suma de los inversos de las resistencias}}$$

$$R_T = 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots)$$

Este es el caso más general y se aplica a cualquier circuito en paralelo, incluyendo los tres casos particulares examinados anteriormente.

En la figura 5.18 se presenta un ejemplo. En este caso, $R_1 = 2k\Omega$, $R_2 = 2,5k\Omega$ y $R_3 = 10k\Omega$. Por tanto:

$$\begin{aligned} R_T &= 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3) \\ R_T &= 1/(1/2 + 1/2,5 + 1/10) k\Omega \\ R_T &= 1/(0,5 + 0,4 + 0,1) k\Omega \\ R_T &= 1/1,0 k\Omega \\ R_T &= 1 k\Omega \end{aligned}$$

De cualquier modo, cuando efectúe el cálculo de resistencias en paralelo, tenga siempre presente esta regla práctica:

“La resistencia total o equivalente de un grupo de resistencias conectadas en paralelo es siempre menor que la menor de las resistencias involucradas”

En nuestro último caso, por ejemplo, figura 5.18, la resistencia total ($1k\Omega$), es menor que $2k\Omega$. Asimismo, en el primer caso, figura 5.15, $R_T = 120\Omega$ es menor que $R_1 = 200\Omega$. Igualmente, en el segundo caso, figura 5.16, $R_T = 1,6k\Omega$ es menor que $R_2 = 2k\Omega$. Por lo mismo, en el tercer caso, figura 5.17, $R_T = 200\Omega$ es menor que $R = 1k\Omega$. El experimento 5.1 fijará de manera práctica todos los conocimientos adquiridos hasta el momento sobre los circuitos en paralelo.

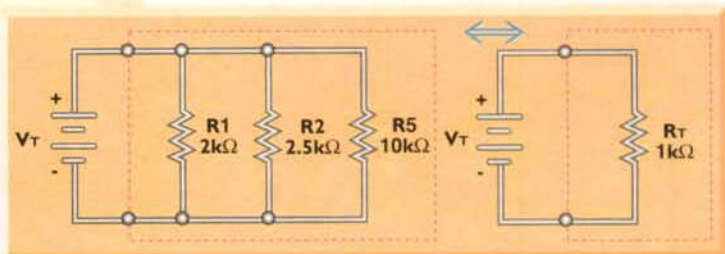
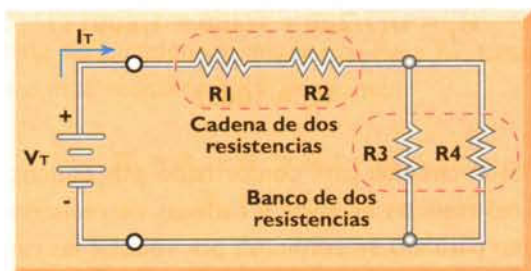
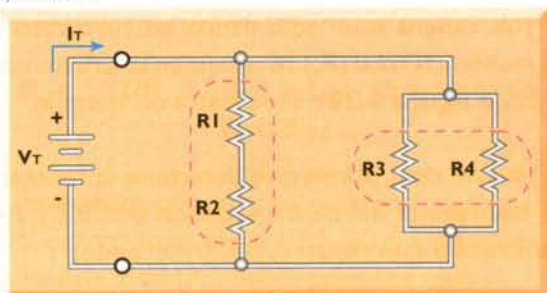


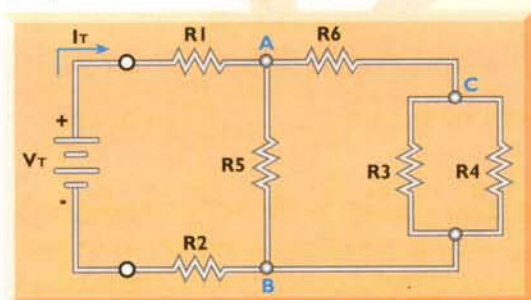
Figura 5.18. Resistencia total de un circuito en paralelo formado por resistencias de diferente valor.



a. Circuito mixto con una cadena (R1 y R2) y un banco (R3 y R4) en serie



b. Circuito mixto con una cadena (R1 y R2) y un banco (R3 y R4) en paralelo



c. Circuito mixto con bancos y cadenas de resistencias en serie-paralelo

Figura 5.19. Ejemplos de circuitos mixtos

Circuitos mixtos con resistencias

En un circuito mixto se combinan las características de un circuito en serie y un circuito en paralelo. Por tanto, algunas cargas están conectadas en

serie para que por ellas circule la misma corriente, mientras que otras lo están en paralelo para que tengan el mismo voltaje. En la **figura 5.19** se muestran algunos ejemplos. En todos estos casos, un grupo de resistencias en serie forman lo que se denomina una **cadena** y un grupo de resistencias en paralelo lo que se denomina un **banco**.

Resistencia total o equivalente en circuitos mixtos

En un circuito mixto, la corriente total entregada por la fuente depende de la resistencia total o equivalente (R_T ó R_{EQ}) ofrecida por el conjunto de cargas. Esta resistencia puede calcularse de las siguientes formas:

1. Si el circuito está conformado por bancos de resistencias conectados en serie, deben primero calcularse las resistencias equivalentes de los bancos. Puesto que estas resistencias quedan en serie con las demás resistencias, el problema se reduce al cálculo de la resistencia total (R_T) de un circuito en serie. En la **figura 5.20a** se muestra un ejemplo.

En este caso, primero se determina la resistencia equivalente del banco formado por R2 y R3. Llamamos a esta resistencia R5. Por tanto:

$$R_5 = R_2 || R_3 = (4 \times 6) / (4 + 6) \text{ k}\Omega = 2,4 \text{ k}\Omega$$

Puesto que R5 queda ahora en serie con R1 y con R4, la resistencia total (R_T) del circuito es:

$$R_T = R_1 + R_5 + R_4 = 1 \text{ k}\Omega + 2,4 \text{ k}\Omega + 3 \text{ k}\Omega = 6,4 \text{ k}\Omega$$

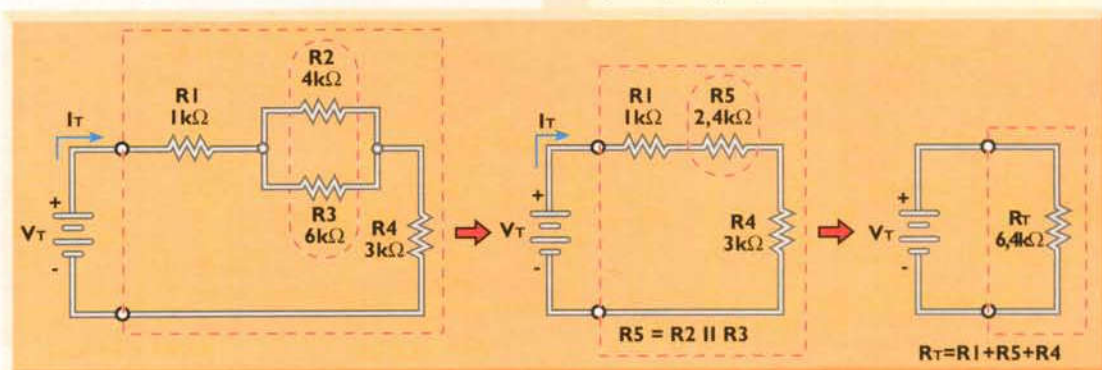


Figura 5.20a. Resistencia equivalente de un circuito mixto conformado por bancos de resistencias en serie

2. Si el circuito está conformado por cadenas de resistencias conectadas en paralelo, deben determinarse primero las resistencias equivalentes de las cadenas. Puesto que estas resistencias quedan en paralelo con las demás resistencias, el problema se reduce al cálculo de la resistencia total de un circuito en paralelo (R_T). En la **figura 5.20b** se muestra un ejemplo.

En este caso, primero se determina la resistencia equivalente de la cadena formada por R_1 y R_2 . Llamamos a esta resistencia R_5 . Por tanto:

$$R_5 = R_1 + R_2 = 100\Omega + 100\Omega = 200\Omega$$

Puesto que R_5 queda ahora en paralelo con R_3 y R_4 , la resistencia total (R_T) del circuito es:

$$R_T = 1/(1/R_5 + 1/R_3 + 1/R_4)$$

$$R_T = 1/(1/200 + 1/300 + 1/600)\Omega$$

$$R_T = 100\Omega$$

3. Si el circuito está conformado por bancos de resistencias en serie y cadenas de resistencias en paralelo, se comienza por reducir las ramas más alejadas de la fuente. El proceso se continúa en dirección de la fuente hasta obtener una sola cadena o un solo banco, en cuyo caso la resistencia total (R_T) se calcula en la forma usual. En la **figura 5.20c** se muestra un ejemplo.

En este caso, primero se determina la resistencia equivalente del banco formado por R_3 y R_4 . Llamamos a esta resistencia R_7 . Por tanto:

$$R_7 = 1/(1/R_3 + 1/R_4) = 1/(1/12 + 1/12)\Omega$$

$$R_7 = 6\Omega$$

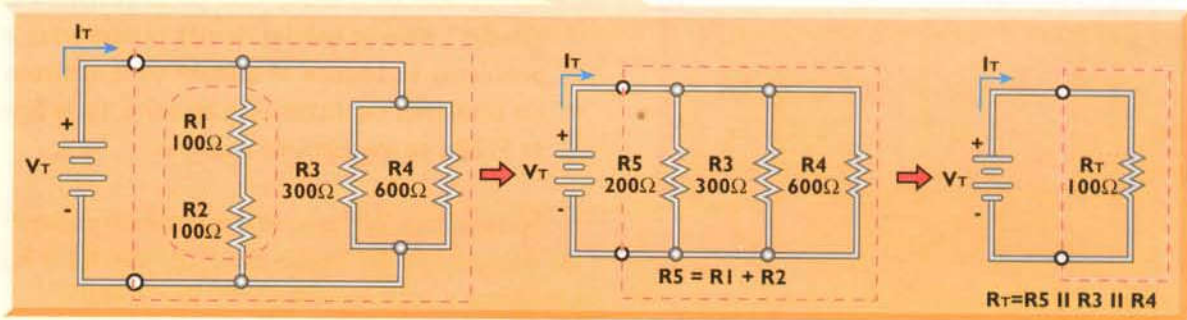


Figura 20b. Cálculo de la resistencia equivalente de un circuito mixto conformado por cadenas de resistencias en paralelo

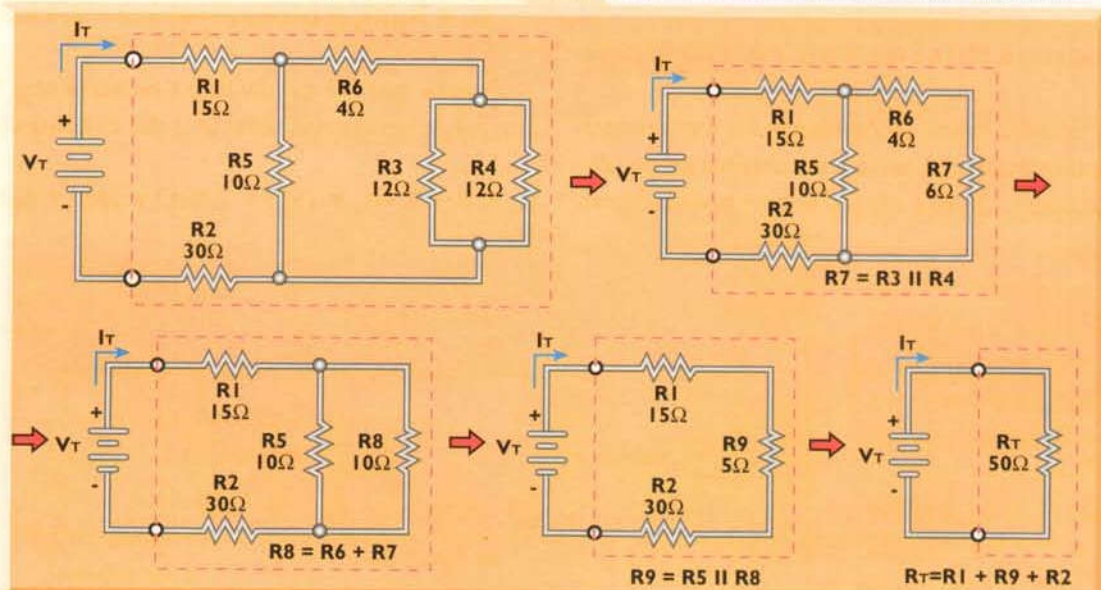


Figura 20c Resistencia total de un circuito mixto conformado por bancos y cadenas de resistencias en serie y en paralelo

A continuación, calculamos la resistencia equivalente de la cadena formada por R6 y R7. Llamamos a esta resistencia R8. Por tanto:

$$R_8 = R_6 + R_7 = 4\Omega + 6\Omega$$

$$R_8 = 10\Omega$$

Seguidamente, calculamos la resistencia equivalente del banco formado por R5 y R8. Llamamos a esta resistencia R9. Por tanto:

$$R_9 = 1/(1/R_5 + 1/R_8) = 1/(1/10 + 1/10)\Omega$$

$$R_9 = 5\Omega$$

Finalmente, calculamos la resistencia equivalente de la cadena formada por R1, R2 y R9. Ésta es la resistencia total (R_T) del circuito. Por tanto:

$$R_T = R_1 + R_9 + R_2 = 15\Omega + 5\Omega + 30\Omega$$

$$R_T = 50\Omega$$

Voltajes y corrientes en un circuito mixto

Para determinar las corrientes y los voltajes en un circuito mixto, deben calcularse primero la resistencia total (R_T) y la corriente total (I_T). El análisis se efectúa desde la fuente hacia las cargas. Como ejemplo, consideremos el cálculo de las corrientes y voltajes a través del circuito de la **figura 5.20(c)** cuando se aplica un voltaje de alimentación (V_T) de 100V. Esta situación se ilustra en la **figura 5.21**. En este caso, $V_T = 100V$ y $R_T = 50\Omega$. Por tanto:

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{100V}{50\Omega} = 2A$$

Esta corriente es la misma que circula a través de R1, R2 y la resistencia equivalente R9. Es decir $I_T = I_1 = I_2 = I_9$. Por tanto, las caídas de voltaje en estas resistencias son:

$$V_1 = I_T \times R_1 = 2A \times 15\Omega = 30V$$

$$V_2 = I_T \times R_2 = 2A \times 30\Omega = 60V$$

$$V_9 = I_T \times R_9 = 2A \times 5\Omega = 10V$$

La caída de voltaje sobre R9 es en realidad la diferencia de potencial que existe entre los puntos A y B del circuito. Esto significa que $V_9 = V_5 = V_8$, es decir las caídas de voltaje a través de la resistencia R5 (V_5) y la resistencia equivalente R8 (V_8) son ambas iguales a 10V. Por tanto, las corrientes a través de estas resistencias son:

$$I_5 = V_5/R_5 = 10V/10\Omega = 1A$$

$$I_8 = V_8/R_8 = 10V/10\Omega = 1A$$

La corriente I_8 es en realidad la corriente que circula a través de R6 y la resistencia equivalente R7. Esto significa que $I_8 = I_6 = I_7$. Por tanto, las caídas de voltaje en estas resistencias son:

$$V_6 = I_8 \times R_6 = 1A \times 4\Omega = 4V$$

$$V_7 = I_8 \times R_7 = 1A \times 6\Omega = 6V$$

La caída de voltaje sobre R7 es en realidad la diferencia de potencial que existe entre los puntos C y B del circuito. Esto significa que $V_7 = V_3 = V_4$. Por tanto, las corrientes a través de estas resistencias son:

$$I_3 = V_3/R_3 = 6V/12\Omega = 0,5A$$

$$I_4 = V_4/R_4 = 6V/12\Omega = 0,5A$$

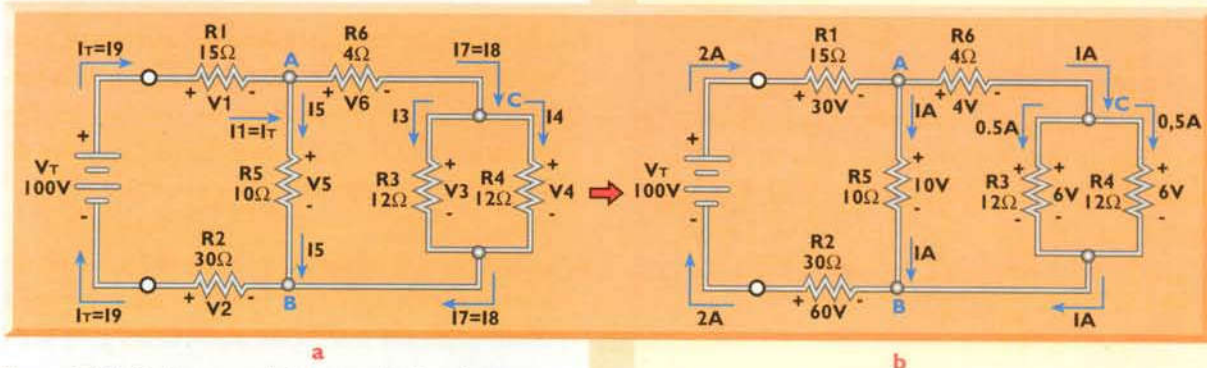


Figura 5.21. Corrientes y voltajes en un circuito mixto

Los resultados de nuestros cálculos se resumen en el circuito de la **figura 5.21b**.

Potencia en circuitos en serie, en paralelo y mixtos

En cualquier circuito con resistencias, la potencia proveniente de la fuente de alimentación del circuito se disipa en forma de calor en cada una de las resistencias. En otras palabras, la potencia total (P_T) entregada por la fuente es igual a la suma de las potencias absorbidas por las resistencias, sin importar si estas últimas están conectadas en serie, en paralelo o en una configuración mixta. Esto es:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

Como ejemplo, consideremos nuevamente el circuito mixto de la **figura 5.21(b)**, reproducido en la **figura 5.22** para mayor comodidad. En este caso, la potencia entregada por la fuente (P_T) es:

$$P_T = V_T \times I_T = 100V \times 2A = 200W$$

Asimismo, las potencias absorbidas por cada una de las resistencias son:

$$P_1 = V_1 \times I_T = 30V \times 2A = 60W$$

$$P_2 = V_2 \times I_T = 60V \times 2A = 120W$$

$$P_3 = V_3 \times I_3 = 6V \times 0.5A = 3W$$

$$P_4 = V_4 \times I_4 = 6V \times 0.5A = 3W$$

$$P_5 = V_5 \times I_5 = 10V \times 1A = 10W$$

$$P_6 = V_6 \times I_6 = 4V \times 1A = 4W$$

Por tanto:

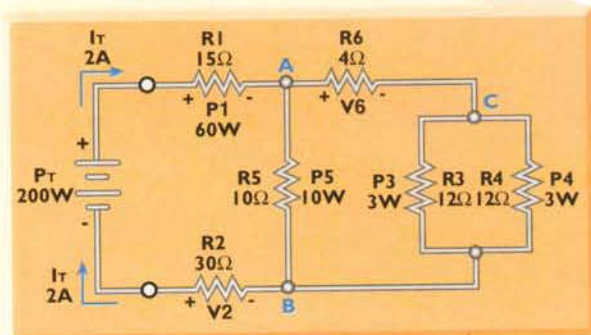


Figura 5.22. Distribución de potencias en un circuito mixto

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 200W = P_T$$

El siguiente experimento fijará de manera práctica todo lo que usted ha aprendido acerca de los circuitos de resistencias en serie, en paralelo y en configuraciones mixtas. Le recomendamos seguirlo con atención, efectuar las mediciones y cálculos con cuidado y observar todos los detalles, sin omitir ninguno. En este experimento usted comprobará, entre otras, las siguientes características generales de estos tipos de circuitos:

1. La resistencia total en un circuito en serie es mayor que la mayor de las resistencias.
2. La resistencia total en un circuito en paralelo es menor que la menor de las resistencias.
3. La corriente total entregada por la fuente en un circuito en serie es la misma que circula a través de todas las resistencias.
4. La corriente total entregada por la fuente en un circuito en paralelo se distribuye entre las resistencias y es igual a la suma de las corrientes que circulan por cada una.
5. El voltaje total entregado por la fuente en un circuito en serie se distribuye entre las resistencias y es igual a la suma de las caídas de voltaje sobre cada una.
6. El voltaje total entregado por la fuente en un circuito en paralelo es el mismo aplicado a través de cada una de las resistencias.
7. La resistencia total, así como las corrientes y los voltajes en un circuito mixto, dependen de la forma como estén conectadas las resistencias. De todas formas, se siguen cumpliendo las leyes de Kirchhoff de las corrientes y los voltajes.
8. La potencia total entregada por la fuente en un circuito en serie, en paralelo o mixto es igual a la suma de las potencias absorbidas por cada una de las resistencias.

Experimento 5.1. Análisis de circuitos con resistencias en serie, en paralelo y en configuraciones mixtas

Objetivos

- Verificar, de manera práctica, las características de los circuitos en serie, en paralelo y mixtos utilizando resistencias como cargas
- Observar el comportamiento del voltaje, la corriente y la potencia en los mismos circuitos
- Demostrar el cumplimiento las leyes de Kirchoff de los voltajes y las corrientes en los mismos circuitos
- Medir la resistencia equivalente de los mismos circuitos y compararla con los valores calculados teóricamente

Materiales necesarios

- I Tablero de conexiones sin soldadura (*protoboard*)
- I Batería de 9V, preferiblemente alcalina
- I Conector para batería
- I Resistencia de $1\text{k}\Omega$ (marrón-negro-rojo)
- I Resistencia de $1,8\text{k}\Omega$ (marrón-gris-rojo)
- I Resistencia de $4,7\text{k}\Omega$, (amarillo-violeta-rojo)
- I Resistencia de $8,2\text{k}\Omega$ (gris-rojo-rojo)
- I Metro de alambre telefónico #24 para puentes
- I Multímetro digital
- I Calculadora

Nota. Todas las resistencias son de composición de carbón y 5% de tolerancia (última banda dorada). Pueden ser de $1/2\text{W}$ o $1/4\text{W}$.

Procedimiento

Primera parte. Generalidades

1. Configure su multímetro digital como medidor de resistencia. Mida el valor real de cada una de las resistencias utilizadas, **figura 5.23**. Registre estos valores en una tabla. Llame R1 la resistencia de $1\text{k}\Omega$, R2 la de $1,8\text{k}\Omega$, R3 la de $4,7\text{k}\Omega$ y R4 la de $8,2\text{k}\Omega$. En nuestro caso, obtuvimos los siguientes resultados:

$$R1 = 0,99 \text{ k}\Omega$$

$$R2 = 1,804 \text{ k}\Omega$$

$$R3 = 4,63 \text{ k}\Omega$$

$$R4 = 7,93\text{k}\Omega$$

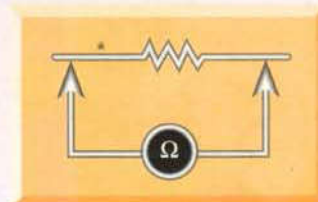
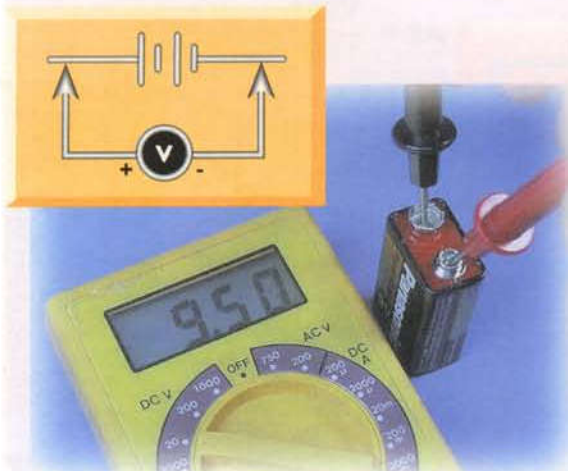
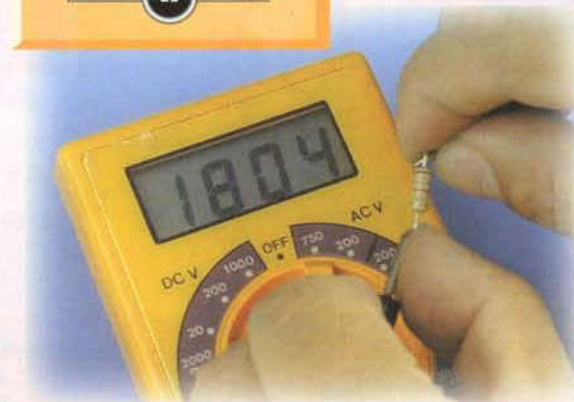


Figura 5.23. Midiendo los valores reales de las resistencias



2. Configure su multímetro como voltímetro para CC. Mida entonces el voltaje entregado por la batería en condiciones de circuito abierto, **figura 5.24**. Registre este valor (V). En nuestro caso, obtuvimos $V=9,5\text{V}$.

Figura 5.24. Midiendo el voltaje de salida de la batería en condiciones de circuito abierto

3. Provea la batería con su respectivo conector. Si es necesario, estañe las puntas del conector para facilitar su inserción en el *protoboard*.
4. Utilizando el alambre telefónico, corte unos 10 puentes de alambre de unos 12 mm de longitud. En las prácticas que siguen, estos puentes le servirán como conductores de conexión removibles para facilitar las mediciones de corriente con el multímetro.

Segunda parte. Conexión de resistencias en serie

5. Seleccione las resistencias R_1 ($1\text{k}\Omega$), R_2 ($1,8\text{k}\Omega$) y R_3 ($4,7\text{k}\Omega$). Conéctelas entonces en serie sobre el *protoboard*, **figura 5.25**. Utilice los puentes de alambre previamente cortados para formar el circuito.
6. Con su multímetro configurado como óhmetro, mida la resistencia total o equivalente (R_T o R_{EQ}) del circuito, **figura 5.26**. Anote el resultado obtenido. ¿Coincide razonablemente este valor con el esperado teóricamente? En nuestro caso, medimos $R_T = 7,47\text{k}\Omega$. El valor esperado era:

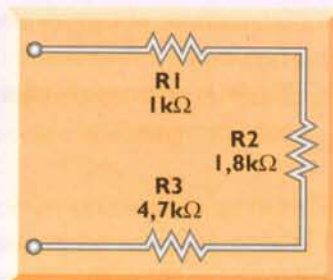
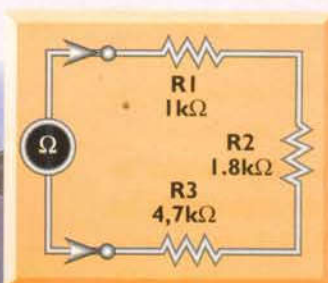
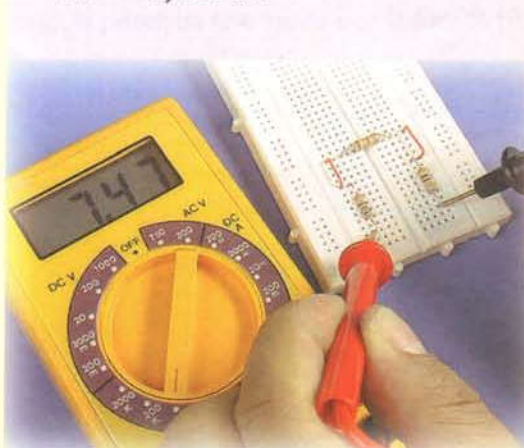


Figura 5.25. Conectando las resistencias en serie

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 0,99\text{k}\Omega + 1,804\text{k}\Omega + 4,63\text{k}\Omega$$

$$R_T = 7,424\text{k}\Omega$$



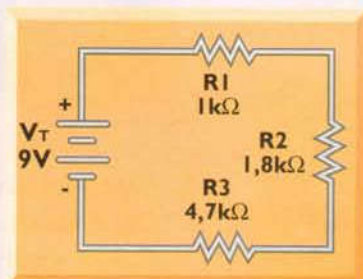
a. Diagrama esquemático

b. Circuito práctico

Por tanto, el valor medido ($7,47\text{k}\Omega$) coincide razonablemente con el esperado ($7,424\text{k}\Omega$). La diferencia o error es de apenas de 46Ω , es decir el $0,62\%$. ¿Cuánto obtuvo usted?

Figura 5.26 Midiendo la resistencia total

7. Complete el circuito en serie alimentándolo mediante la batería, como se indica en la **figura 5.27**.



a. Diagrama esquemático

b. Circuito práctico

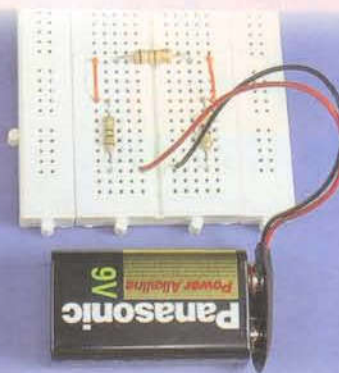
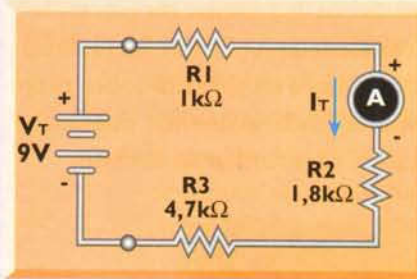


Figura 5.27. Alimentando el circuito en serie con la batería

8. Configure su multímetro digital como miliamperímetro para CC. Mida entonces la corriente a través del circuito, **figura 5.28**. Para ello, retire cualquiera de los puentes de conexión y conecte en su lugar el multímetro. Como puntos de contacto puede utilizar los terminales desnudos de las resistencias. Anote el valor medido y compárelo con el esperado teóricamente. Una vez hecha esta medida, reinstale el puente. En nuestro caso, obtuvimos $I_T = 1,27 \text{ mA}$. El valor esperado era:

$$I_T = V_T / R_T = 9,5V / 7,47k\Omega = 1,27 \text{ mA}$$



a. Diagrama esquemático



b. Circuito práctico

Figura 5.28. Midiendo la corriente en un circuito en serie

9. Configure su multímetro como voltímetro para CC. Mida entonces la caída de voltaje a través de cada resistencia (V_1, V_2, V_3) y compare su suma con el voltaje entregado por la batería (V_T), **figura 5.29**. Anote los valores obtenidos y compárelos con los esperados teóricamente. En nuestro caso, obtuvimos $V_T = 9,48V$, $V_1 = 1,26V$, $V_2 = 2,28V$ y $V_3 = 5,90V$. Los valores esperados eran:

$$\begin{aligned} V_1 &= I \times R_1 = 1,27\text{mA} \times 0,99k\Omega = 1,257V \\ V_2 &= I \times R_2 = 1,27\text{mA} \times 1,804k\Omega = 2,291V \\ V_3 &= I \times R_3 = 1,27\text{mA} \times 4,63k\Omega = 5,880V \\ V_T &= I \times R_T = 1,27\text{mA} \times 7,47k\Omega = 9,487V \\ V_T &= V_1 + V_2 + V_3 = 9,428V \end{aligned}$$

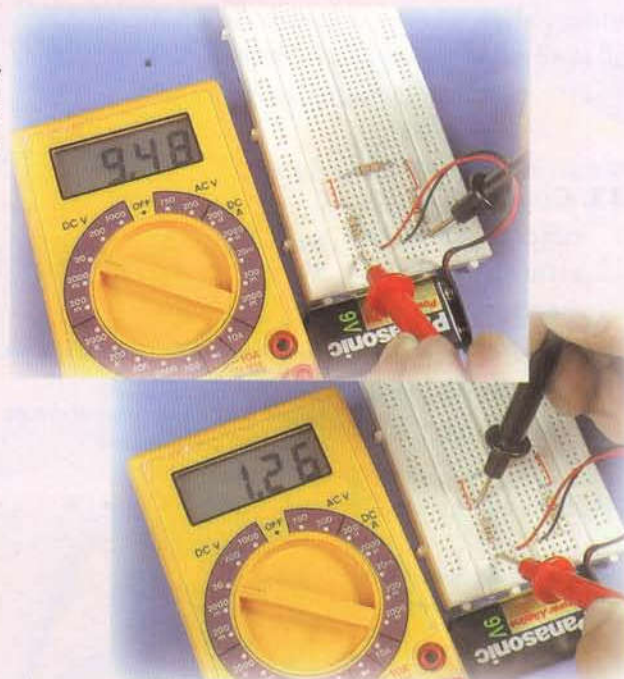
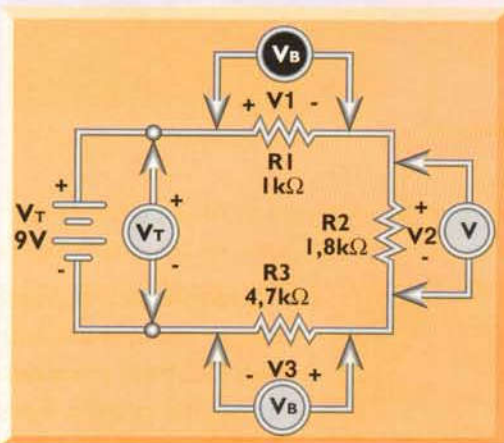


Figura 5.29. Midiendo el voltaje de entrada y las caídas de voltaje en un circuito en serie

10. Calcule la potencia entregada por la fuente (P_T) y compárela con la suma de las potencias absorbidas por cada resistencia. En nuestro caso:

$$\begin{aligned} P_T &= V_T \times I_T = 9,48V \times 1,27\text{mA} = 12,04 \text{ mW} \\ P_1 &= V_1 \times I_T = 1,26V \times 1,27\text{mA} = 1,60 \text{ mW} \\ P_2 &= V_2 \times I_T = 2,28V \times 1,27\text{mA} = 2,90 \text{ mW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= V_3 \times I_T = 5,90V \times 1,27\text{mA} = 7,49 \text{ mW} \\ P_1 + P_2 + P_3 &= 11,99 \text{ mW} \approx P_T \end{aligned}$$

Tercera parte. Conexión de resistencias en paralelo

11. Seleccione otra vez las resistencias $R1$ ($1k\Omega$), $R2$ ($1,8k\Omega$) y $R3$ ($4,7k\Omega$), pero conéctelas ahora en paralelo sobre el protoboard, **figura 5.30**. Nuevamente, utilice los puentes de alambre que sean necesarios para formar el circuito.

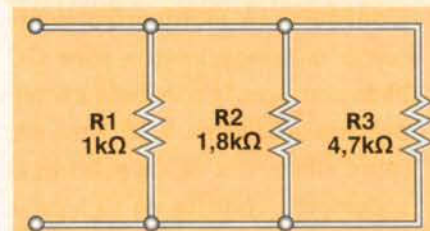
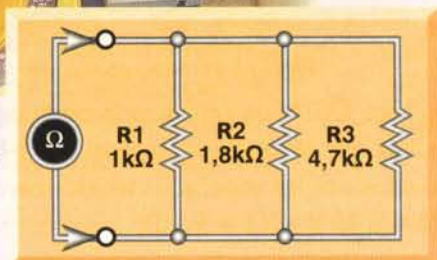


Figura 5.30 Conexión de las resistencias en paralelo



Figura 5.31. Midiendo la resistencia total de un circuito en paralelo



12. Con su multímetro configurado como óhmímetro, mida la resistencia total o equivalente (R_T o R_{EQ}) del circuito, **figura 5.31**. Anote el resultado obtenido. En nuestro caso, medimos $R_T = 565\Omega$. El valor esperado era $R_T = 562\Omega$. ¿Por qué?

13. Complete el circuito en paralelo alimentándolo mediante la batería, **figura 5.32**.

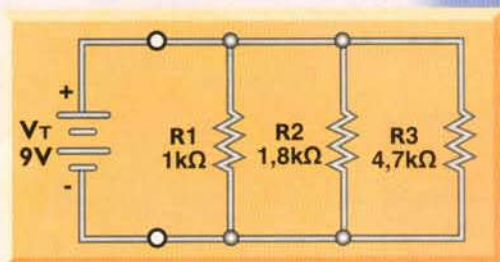


Figura 5.32 Alimentando el circuito en paralelo con la batería

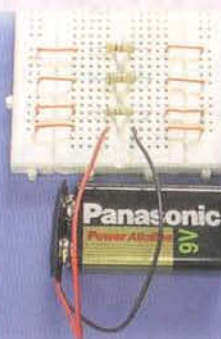
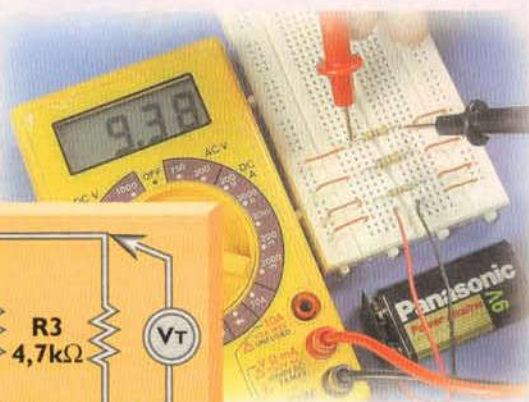
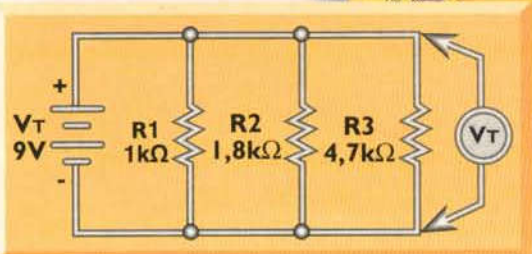


Figura 5.33. Midiendo el voltaje en un circuito en paralelo



14. Configure su multímetro digital como voltímetro para CC. Mida entonces el voltaje del circuito, **figura 5.33**. Anote el valor medido y compárelo con el esperado teóricamente. En nuestro caso, obtuvimos $V_T = 9,38V$. El valor esperado era $V_T = 9,5V$. ¿Por qué?

15. Configure su multímetro como miliamperímetro para CC. Mida entonces la corriente entregada por la fuente (I_T) y la corriente a través de cada resistencia (I_1 , I_2 , I_3), figuras 5.34 y 5.35. Anote los valores obtenidos y compárelos con los esperados teóricamente. En nuestro caso, obtuvimos $I_T=16,5\text{mA}$, $I_1=9,3\text{mA}$, $I_2=5,1\text{mA}$ e $I_3=2,0\text{mA}$. Los valores esperados eran $I_1 = 9,475\text{mA}$, $I_2 = 5,2\text{mA}$, $I_3 = 2,062\text{mA}$ e $I_T = 16,4\text{mA}$ ¿Por qué?

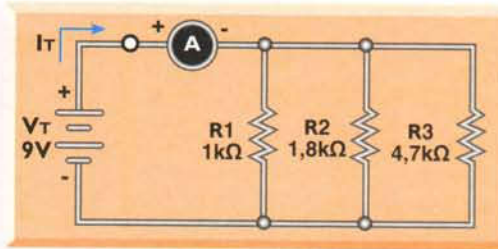


Figura 5.34. Midiendo la corriente total en un circuito en paralelo

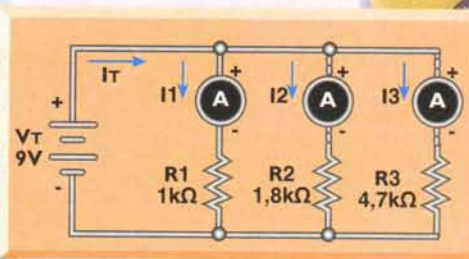


Figura 5.35. Midiendo las corrientes de rama en un circuito en paralelo

16. Calcule la potencia entregada por la fuente (P_T) y compárela con la suma de las potencias absorbidas por cada resistencia. En nuestro caso:

$$\begin{aligned} P_T &= V_T \times I_T = 9,38\text{V} \times 16,5\text{mA} = 154,77\text{ mW} & P_2 &= V_T \times I_2 = 9,38\text{V} \times 5,1\text{mA} = 47,84\text{ mW} \\ P_1 &= V_T \times I_1 = 9,38\text{V} \times 9,3\text{mA} = 87,23\text{ mW} & P_3 &= V_T \times I_3 = 9,38\text{V} \times 2,0\text{mA} = 18,76\text{ mW} \\ & & P_1+P_2+P_3 &= 153,83\text{ mW} \approx P_T \end{aligned}$$

Tercera parte. Conexión de resistencias en serie-paralelo

17. Seleccione las resistencias R_1 ($1\text{k}\Omega$), R_2 ($1,8\text{k}\Omega$), R_3 ($4,7\text{k}\Omega$) y R_4 ($8,2\text{k}\Omega$) y conéctelas sobre el protoboard en una configuración mixta, figura 5.36. Nuevamente, utilice los puentes de alambre que sean necesarios para formar el circuito.

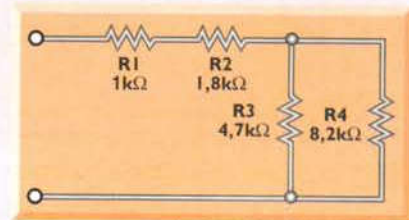
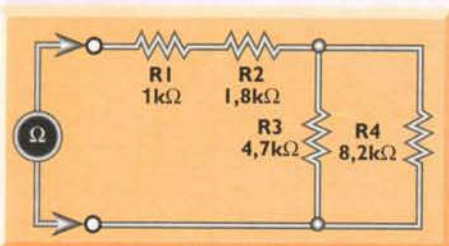
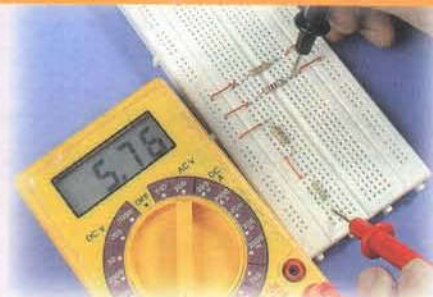
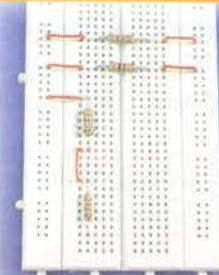


Figura 5.36. Conectando las resistencias en una configuración mixta o serie paralelo

Figura 5.37. Midiendo la resistencia total de un circuito mixto



18. Con su multímetro configurado como óhmetro, mida la resistencia total o equivalente (R_T o R_{EQ}) del circuito, figura 5.37. Anote el resultado obtenido. En nuestro caso, medimos $R_T = 5,76\text{ k}\Omega$. El valor esperado era $5,714\text{k}\Omega$ ¿Por qué?

19. Complete el circuito alimentándolo mediante la batería, figura 5.38.

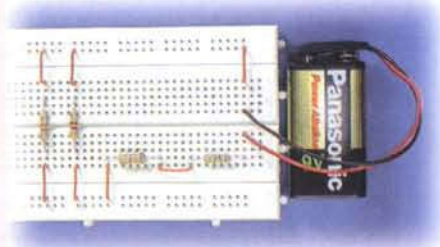
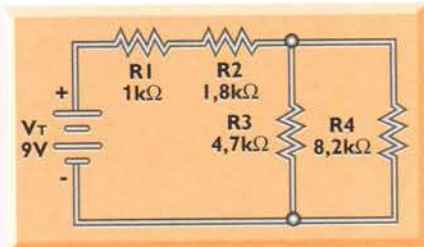


Figura 5.38. Alimentando el circuito mixto con la batería

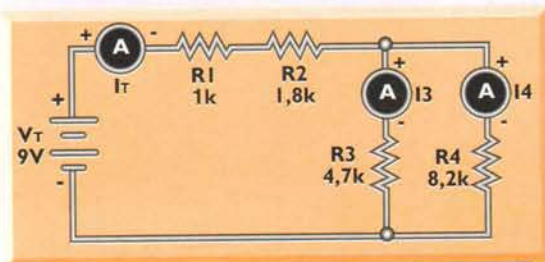


Figura 5.39. Midiendo las corrientes del circuito mixto



20. Configure su multímetro como amperímetro para CC y mida las corrientes del circuito, figura 5.39. Anote los valores obtenidos. En nuestro caso, obtuvimos $I_T = 1,64\text{mA}$, $I_3 = 1,03\text{mA}$ e $I_4 = 0,59\text{mA}$. Los valores esperados eran $I_3 = 1,03\text{mA}$, $I_4 = 0,60\text{mA}$ e $I_T = 1,62\text{mA}$ ¿Por que?

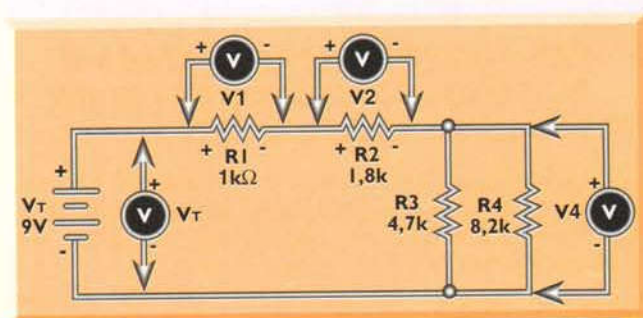


Figura 5.40. Midiendo los voltajes del circuito mixto



21. Configure su multímetro como voltímetro para CC y mida los voltajes del circuito, figura 5.40. En nuestro caso, obtuvimos $V_T = 9,39\text{V}$, $V_1 = 1,62\text{V}$, $V_2 = 2,94\text{V}$ y $V_3 = 4,82\text{V}$. Los valores esperados eran $V_1 = 1,61\text{V}$, $V_2 = 2,94\text{V}$, $V_3 = 4,76\text{V}$ y $V_T = 9,38\text{V}$ ¿Por qué?

22. Calcule la potencia entregada por la fuente y compárela con la suma de las absorbidas por las resistencias. En nuestro caso:

$$\begin{aligned} P_T &= V_T \times I_T = 9,39\text{V} \times 1,64\text{mA} = 15,40\text{ mW} \\ P_1 &= V_1 \times I_T = 1,62\text{V} \times 1,64\text{mA} = 2,66\text{ mW} \\ P_2 &= V_2 \times I_T = 2,94\text{V} \times 1,64\text{mA} = 4,82\text{ mW} \\ P_3 &= V_3 \times I_3 = 4,82\text{V} \times 1,03\text{mA} = 4,96\text{ mW} \\ P_4 &= V_3 \times I_4 = 4,82\text{V} \times 0,59\text{mA} = 2,84\text{ mW} \\ P_1 + P_2 + P_3 + P_4 &= 15,28\text{ mW} \approx P_T \end{aligned}$$

23. Derive sus propias conclusiones a partir de cada uno de los resultados de este experimento. ¿Coinciden con lo que esperaba obtener? ¿Por qué?

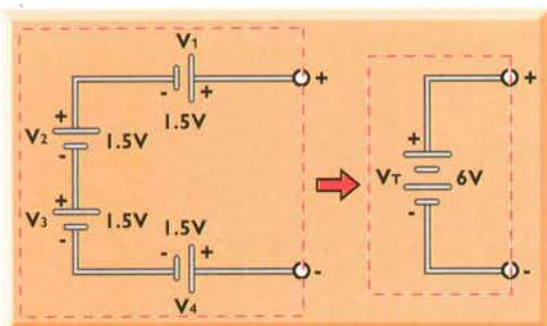


Figura 5.41 Voltaje equivalente de baterías en serie. Todo el conjunto se comporta como una batería de 6V con una capacidad de corriente igual a la de la pila de menor capacidad

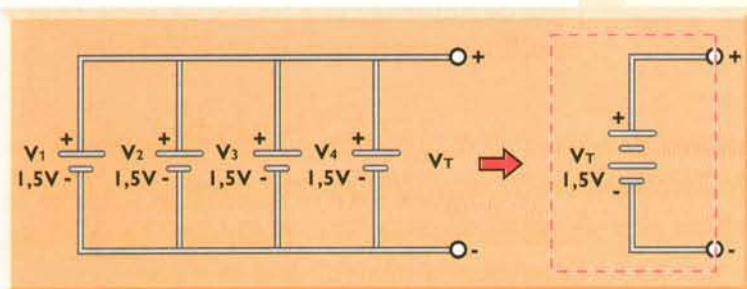


Figura 5.42 Voltaje equivalente de baterías en paralelo. Todo el conjunto se comporta como una batería de 1,5V con una capacidad de corriente igual a la suma de las capacidades de cada pila

Conexión de pilas en serie y en paralelo

Las fuentes de energía eléctrica, como las pilas y las baterías, pueden ser conectadas en serie o en paralelo para aumentar su capacidad de voltaje o de corriente. En la **figura 5.41** se muestra un grupo de **pilas conectadas en serie aditiva**. El voltaje total (V_T) entregado es igual a la suma de los voltajes individuales. Esto es:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

En este modo de conexión se basan las **baterías**, como las utilizadas en los automóviles, las cuales se construyen a partir de varios elementos llamados **celdas** conectados en serie.

En la **figura 5.42** se muestra un grupo de **pilas conectadas en paralelo**. En este caso, el voltaje total (V_T) es igual al voltaje de cada unidad. La capacidad de corriente es igual a la suma de las capacidades individuales de todas las pilas. Esto es:

Figura 5.43 Símbolo de un condensador

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$$

En nuestro caso, cada pila entrega 1,5V. Por tanto, el voltaje resultante es 1,5V. Si cada pila entrega 100 mA, todo el conjunto se comporta como una pila de 1,5V con una capacidad de 4×100 mA, es decir 400 mA. En este modo de conexión se basan las **baterías de refuerzo**, como las que se conectan temporalmente a las baterías «muertas» de los automóviles para encender el motor. Las pilas y baterías se estudian en detalle en la sección Componentes de este curso.

Conexión de condensadores en serie y en paralelo

Los condensadores son componentes que se utilizan para almacenar temporalmente energía eléctrica en forma de voltaje. Están formados por un material aislante, llamado **dieléctrico**, colocado entre dos conductores, llamados **placas**, **figura 5.43**. Los condensadores se identifican por su **capacitancia**, la cual se especifica en **faradios (F)** o submúltiplos, principalmente microfaradios (μF), nanofaradios (nF) y picofaradios (pF).

Los condensadores se pueden conectar en serie o en paralelo para obtener capacidades menores o mayores que la proporcionada por uno solo. En la **figura 5.44** se muestra un conjunto de **con-**

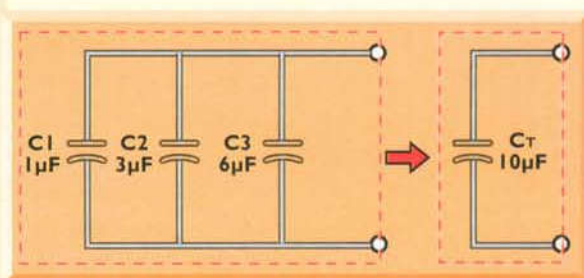


Figura 5.44 Capacitancia equivalente de condensadores en paralelo

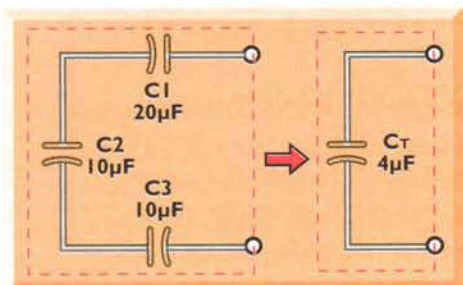


Figura 5.45 Capacitancia equivalente de condensadores en serie

condensadores conectados en paralelo. En este caso, la capacidad total (C_T) está dada por:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

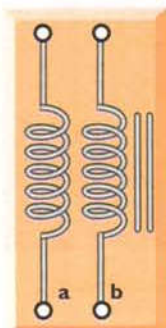
En la **figura 5.45** se muestra un conjunto de **condensadores conectados en serie**. En este caso, la capacidad total (C_T) está dada por:

$$C_T = 1/(1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots)$$

Los condensadores se estudian en detalle en la sección Componentes de este curso.

Conexión de bobinas en serie y en paralelo

Las bobinas son componentes que se utilizan para almacenar temporalmente corriente eléctrica y producir un voltaje cuando cambia la corriente. Están formadas por un alambre enrollado (devanado) alrededor de un núcleo aislante o de material magnético, por ejemplo hierro, **figura 5.46**. Las bobinas se identifican por su **inductancia**, la cual se especifica en **henrios (H)** o submúltiplos, principalmente milihenrios (mH) y microhenrios (µH).



Las bobinas, al igual que las resistencias y los condensadores, pueden ser conectadas en serie o en paralelo para obtener inductancias mayores o menores que la proporcionada por una sola. En la **figura 5.47** se muestra un con-

Figura 5.46 Símbolo de una bobina con núcleo de aire (a) o hierro (b)

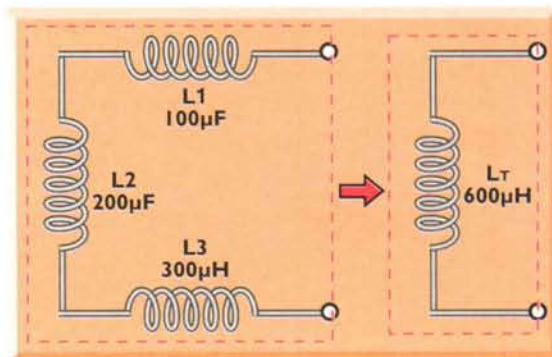


Figura 5.47 Inductancia equivalente de bobinas conectadas en serie

junto de **bobinas conectados en serie**. En este caso, la inductancia total (L_T) está dada por:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

En la **figura 5.47** se muestra un conjunto de **bobinas conectadas en paralelo**. En este caso, la inductancia total (L_T) está dada por:

$$L_T = 1/(1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + \dots)$$

Las formulas anteriores asumen que las bobinas están físicamente distantes y no están **acopladas magnéticamente**, es decir no están construidas sobre el mismo núcleo. También suponen que están devanadas en la misma dirección. En la práctica, la inductancia real obtenida depende de estos factores y de la llamada **inductancia mutua** (L_M), un parámetro que define el grado de acoplamiento magnético entre ellas. Dos o más bobinas acopladas sobre un mismo núcleo constituyen un **transformador**. Las bobinas y los transformadores se estudian en detalle en la sección Componentes de este curso.

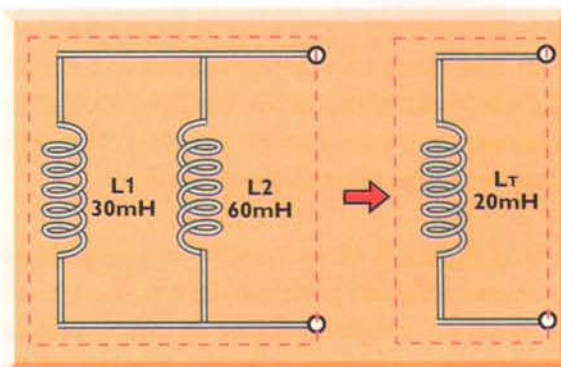


Figura 5.48 Inductancia equivalente de bobinas en paralelo