

Tema 1. Conceptos básicos

1.	Introducción.....	1
2.	Conceptos básicos	2
2.1.	Circuito eléctrico	2
2.2.	Teoría de Circuitos	2
3.	Magnitudes de un circuito: Tensión e intensidad	3
3.1.	Carga y corriente eléctrica (o intensidad).....	3
	Direcciones de referencia	4
3.2.	Tensión o diferencia de potencial.....	5
	Dirección de referencia.....	5
	Analogía hidráulica	6
4.	Leyes de Kirchhoff	7
4.1.	Topología de un circuito.....	7
4.2.	Ley de corrientes de Kirchhoff.....	8
4.3.	Ley de tensiones de Kirchhoff.....	9
4.4.	Leyes de los dispositivos	10

1. Introducción

Antes de comenzar a desarrollar el tema intentaremos responder a una pregunta: ¿Por qué empezamos con la Teoría de Circuitos?.

Principalmente por tres razones:

1. La *Teoría de Circuitos* y el *Electromagnetismo* son las teorías sobre las que se fundamentan todas las demás ramas de la ingeniería electrónica. Entre ellas la Física de Semiconductores, objeto de la asignatura *Tecnología y Componentes Electrónicos y Fotónicos*. La Teoría de Circuitos es una herramienta que nos permitirá evaluar en ejemplos prácticos las conclusiones obtenidas en la asignatura.
2. A lo largo de la asignatura se irán definiendo una serie de modelos para los diferentes dispositivos estudiados. Estos modelos son “circuitos”, por tanto, necesitaremos la *Teoría de Circuitos* para entender como se comportan los dispositivos y comenzar a ver aplicaciones de los mismos. De esta forma se comienza a ver la utilidad de la electrónica, no sólo como modelado de dispositivos, sino como instrumento para diseñar circuitos complejos¹.
3. Por último, la *Teoría de Circuitos* ha proporcionado un lenguaje propio de la ingeniería electrónica. Todos los estudiantes deben familiarizarse con este

¹ A lo largo de las prácticas se estudiarán circuitos completos, como por ejemplo, un transmisor receptor de fibra óptica, un transmisor de radio AM y diferentes amplificadores.

lenguaje lo antes posible, ya que será utilizado en casi todas las asignaturas de la carrera.

2. Conceptos básicos

Antes de entrar en detalles es necesario introducir algunos conceptos fundamentales.

2.1. Circuito eléctrico

Un *circuito eléctrico* es una interconexión de elementos eléctricos unidos entre sí de forma que pueda fluir una corriente eléctrica.

En la figura 1 se puede ver un ejemplo circuito eléctrico. Se puede ver cómo los diferentes elementos están conectados entre sí mediante conductores o cables.

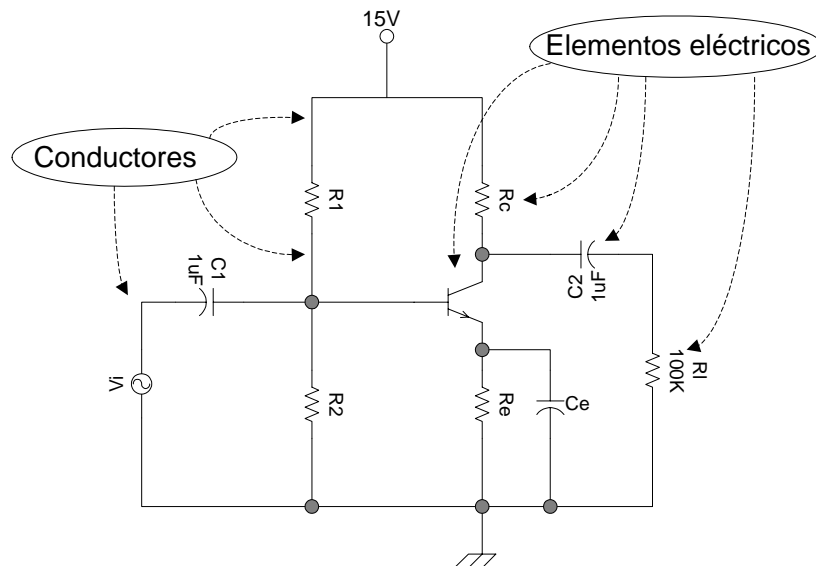


Figura 1. Ejemplo de circuito eléctrico.

2.2. Teoría de Circuitos

La *Teoría de Circuitos* es una herramienta matemática que nos permite calcular la tensión y la corriente eléctrica en los elementos de un circuito.

Mediante la *Teoría de Circuitos* se pueden realizar:

1. Análisis de circuitos: Conocer el comportamiento de un circuito dada una topología.
2. Síntesis de circuitos: Conocer la topología de un circuito dado un comportamiento.

La *Teoría de Circuitos* no entra en el interior de los dispositivos, sino que utiliza modelos de los mismos y leyes físicas para conocer el valor de las variables un circuito.

En la definición se han utilizado términos no conocidos hasta ahora, como el de tensión y corriente eléctrica. Estos conceptos son muy importantes, ya que las magnitudes que caracterizan el comportamiento de un circuito son precisamente la tensión y la corriente eléctrica de cada uno de sus dispositivos. Por tanto, éstas serán las incógnitas en cualquier problema de teoría de circuitos. A continuación se explicará el significado físico de estas magnitudes.

3. Magnitudes de un circuito: Tensión e intensidad

3.1. Carga y corriente eléctrica (o intensidad).

La *corriente eléctrica o intensidad* se define como el flujo de carga a través de un conductor eléctrico.

Para comprender esta definición se necesita introducir una serie de conceptos. En primer lugar hay que tener claro el concepto de *carga*. La *carga*, al igual que la masa, longitud y tiempo, es una propiedad de la materia; y se mide en Culombios (C).

La física elemental establece que toda materia está formada por átomos, y que cada uno de ellos está compuesto por electrones, protones y neutrones. Por otro lado, la carga de un electrón es negativa (por convención) y de valor $-1.602 \cdot 10^{-19} C$ y la del protón es positiva de la misma magnitud. De esta forma, un átomo con igual número de electrones y de protones tiene carga neutra, mientras que si el número de electrones es mayor que el de protones está cargado negativamente.

Por otra parte, un conductor eléctrico posee electrones capaces de moverse a lo largo del conductor como respuesta a una fuerza electromotriz. Cuando en un conductor aplicamos un campo eléctrico las cargas son obligadas a moverse (sufren la acción de una fuerza por unidad de carga). El movimiento de cargas forma una *corriente eléctrica*. Como convención, se considera el flujo de corriente positivo cuando es opuesto al flujo de electrones, como puede verse en la figura 2.

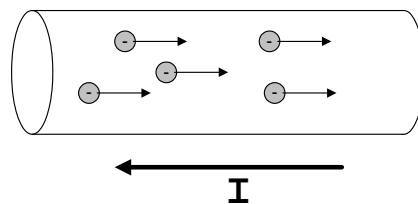


Figura 2. Corriente eléctrica debido al movimiento de cargas en un conductor

La corriente eléctrica se mide en Amperios ($A = C/s$) y su definición matemática sería:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

i: intensidad
q: carga
t: tiempo

Notar que la definición anterior no implica en absoluto que la corriente sea una función constante.

Direcciones de referencia

Para poder especificar una corriente necesitamos tener una dirección de referencia y un valor numérico, el cual puede ser positivo o negativo. Las direcciones de referencia se indicarán mediante una flecha encima del conductor, como puede verse en la figura 3a.

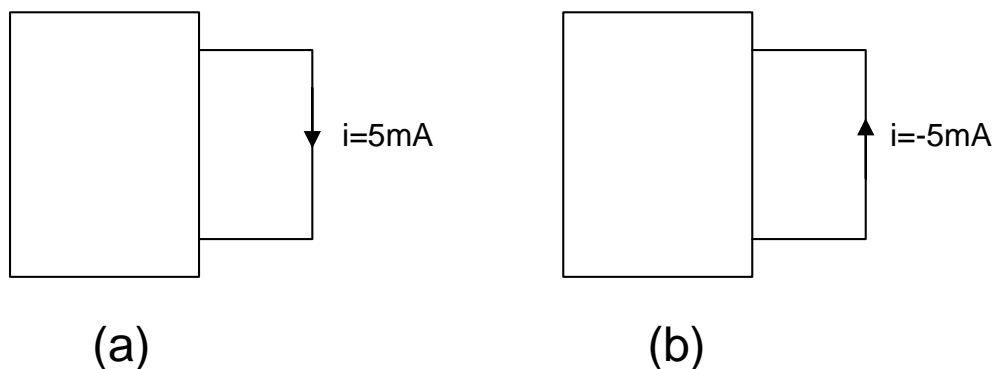


Figura 3. Dos representaciones diferentes de la misma intensidad.

En la figura 3b se expresa la misma corriente de forma diferente, ya que una corriente hacia arriba de $-5mA$ es igual a una hacia abajo de $5mA$.

La “corriente física” es, por definición, positiva, y por tanto la corriente física (real) en la figura 3 va hacia abajo.

Antes de comenzar el análisis de cualquier circuito, el estudiante (o ingeniero) es responsable de asignar las intensidades de referencia como primer paso para la resolución del circuito. Estas direcciones se asignan sin importar la dirección de las “corrientes físicas”. Una vez resuelto el circuito, es decir, calculado el valor de sus tensiones e intensidades, el signo marcará el verdadero sentido de la corriente.

3.2. Tensión o diferencia de potencial

La *tensión o diferencia de potencial* entre dos puntos de un circuito se define como el trabajo necesario para mover una carga unitaria entre dichos puntos. Se mide en Voltios (V).

Vamos a intentar explicar esta definición. Para mover un electrón de un conductor en una dirección particular se requiere cierto trabajo o transferencia de energía. Este trabajo, que se conoce con el nombre de *tensión o diferencia de potencial*, lo lleva a cabo una fuerza electromotriz.

Matemáticamente, podemos definir la tensión entre los puntos *a* y *b* de un circuito como:

$$v_{ab} = \frac{dw}{dq}$$

v_{ab} : Tensión entre *a* y *b*
 w : Trabajo
 q : Carga

Como se puede deducir de la definición, las dimensiones del Voltio son:

$$V = J/C = N \cdot m/C$$

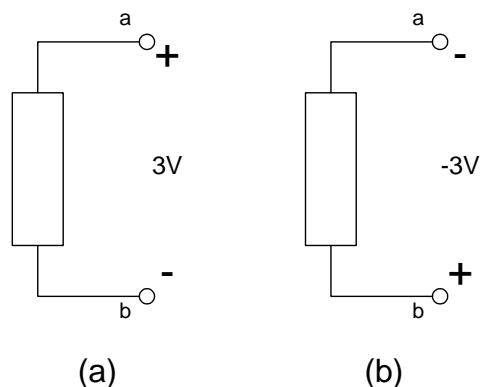


Figura 4. Dos representaciones diferentes para la misma tensión

Dirección de referencia

Tanto el trabajo como la carga pueden ser positivos o negativos, por tanto, la tensión será una magnitud con signo, por ello será necesario tener una dirección de referencia bien definida. Para definir una tensión será necesario especificar dos puntos y un valor numérico, tal como puede verse en la figura 4a. Los signos + y - se utilizan para definir la dirección de referencia.

En la figura 4b se representa otra forma de especificar la misma tensión.

Al igual que con la **intensidad**, antes de resolver un circuito, hay que definir las referencias de tensión, y una vez resuelto, los signos de los valores numéricos determinan completamente la tensión entre dos puntos.

Analogía hidráulica

Normalmente los conceptos eléctricos suelen ser bastante difíciles de asimilar por el estudiante que se enfrenta por primera vez a los mismos. Para comprenderlos mejor se puede asimilar un circuito eléctrico a un circuito hidráulico, mucho más intuitivo.

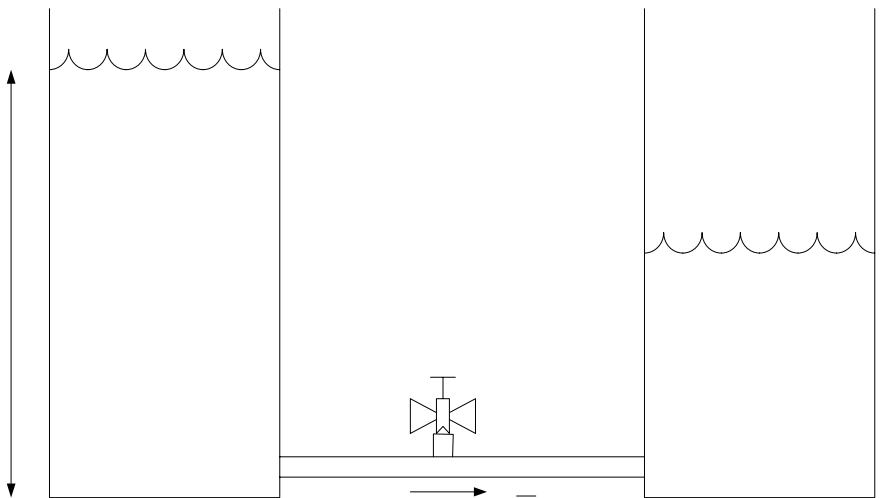


Figura 5. Analogía hidráulica

En la figura 5 vemos la presencia de dos elementos acumuladores de energía. Los depósitos de la figura tienen acumuladas dos alturas de agua H_1 y H_2 , que tienden a empujar una corriente de agua a salir de ellos. Al final el agua fluirá en un sentido dependiendo de que elemento tenga más energía acumulada (en este caso desde el depósito con altura H_1 al depósito con altura H_2).

En el ejemplo anterior podemos asimilar la carga (medida en C) con el agua (medida en l). La cantidad de agua que pasa por la tubería (l/s) se puede identificar con la intensidad eléctrica ($A=C/s$).

La tensión sería similar a la diferencia de energía potencial almacenada en cada uno de los depósitos (proporcional a la altura). En este caso el flujo de agua o intensidad irá del depósito con altura H_1 al depósito con altura H_2 . Sin embargo, podemos ver que la diferencia de altura (al igual que tensión eléctrica) implica una potencialidad, es decir, si se cierra la válvula dejará de producirse el flujo de agua.

4. Leyes de Kirchhoff

4.1. Topología de un circuito

Antes de explicar las leyes de Kirchhoff es necesario definir tres conceptos relacionados con la topología de un circuito: rama, nodo y bucle.

Una *rama* representa a cualquier elemento de dos terminales dentro de un circuito.

En la figura 6 se resaltan las seis ramas del circuito.

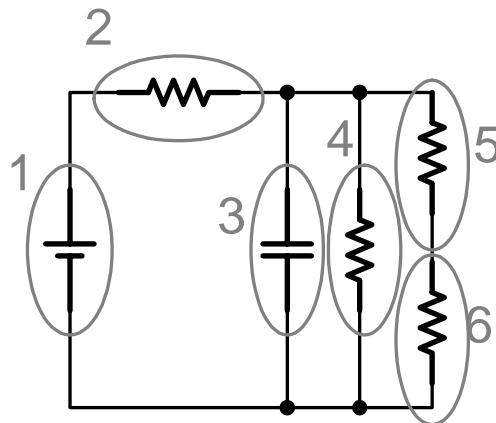
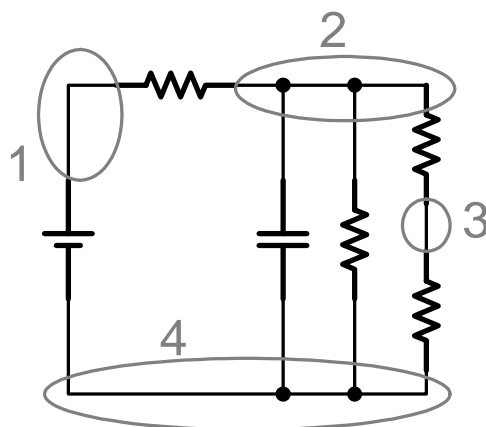


Figura 6. Identificación de las ramas de un circuito.

Un *nodo* es el punto de interconexión de dos o más ramas.

En la figura 7 se representan los cuatro nodos del mismo circuito.



Figuras 7. Identificación de los nodos del circuito.

Un *bucle* es cualquier trayectoria cerrada dentro de un circuito, de forma que partiendo de uno de los nodos se vuelva de nuevo al nodo de partida sin pasar dos veces por el mismo nodo.

En la figura 8 se representan algunos bucles del circuito.

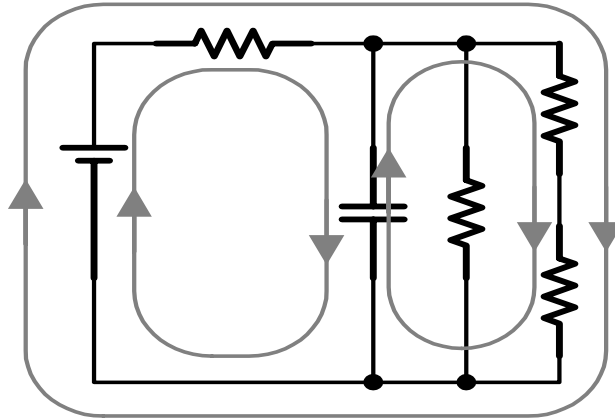


Figura 8. Identificación de los bucles de un circuito.

4.2. Ley de corrientes de Kirchhoff

La Ley de corrientes de Kirchhoff establece que la suma de todas las corrientes entrantes en un nodo es cero en todo instante.

Esta ley se puede escribir:

$$\sum_{k=1}^N i_k = 0$$

N : Número de ramas que se une en el nodo.
 i_k : Corriente de la rama k -ésima (ver figura 9).

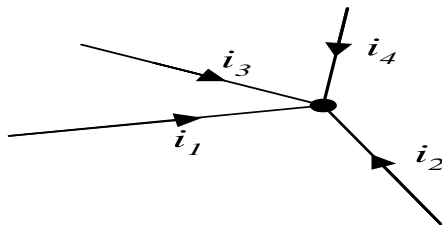


Figura 9. Ilustración de la Ley de corrientes de Kirchhoff.

Ejemplo 1: Aplicar las Ley de corrientes de Kirchhoff a los nodos A y B del circuito de la figura 1'.

En primer lugar hay que definir las referencias para las corrientes, par lo cual, como se ha comentado anteriormente, se tiene completa libertad. Se ha asignado una corriente con su respectivo sentido a cada una de las ramas del circuito de forma arbitraria.

Las ecuaciones resultantes de aplicar la Ley de corrientes de Kirchhoff son:

$$\text{Nodo A: } I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

$$\text{Nodo B: } I_5 - I_6 = 0$$

Para plantear las ecuaciones se han considerado las intensidades entrantes positivas y las salientes negativas.

De la ecuación del nodo B se puede sacar una regla que simplifica mucho los sistemas de ecuaciones. Cuando se tiene un nodo, como el nodo B, en el cual se conectan dos componentes en serie no es necesario plantear explícitamente la ley de Kirchhoff. Debido a que la corriente entrante será siempre igual a la saliente, basta con definir una sola corriente para ambas ramas.

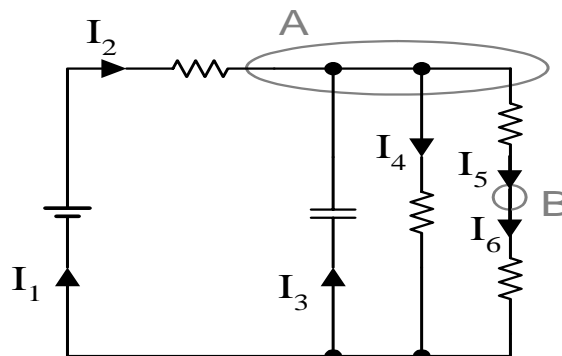


Figura 10. Circuito del ejemplo 1.

4.3. Ley de tensiones de Kirchhoff

La Ley de tensiones de Kirchhoff establece que la suma de todas las tensiones alrededor de un bucle es igual a cero en todo instante.

Matemáticamente:

$$\sum_{k=1}^N v_k = 0$$

N : Número de ramas que componen el bucle.

v_k : Tensión en la rama k -ésima.

Ejemplo 2. Plantear la Ley de tensiones de Kirchhoff en el bucle señalado en el circuito de la figura 11.

Se plantea la Ley de tensiones de Kirchhoff en el bucle externo del circuito. Para ello definimos un sentido en el que recorreremos las ramas que componen el bucle, en este caso lo haremos en el sentido de las agujas del reloj.

Previamente se han asignado de forma aleatoria las referencias de tensión a las diferentes ramas del circuito. La ecuación queda:

$$-V_1 - V_2 - V_5 + V_6 = 0$$

Para plantear la ecuación se ha seguido la siguiente regla: Siguiendo el sentido del bucle, la tensión se escribe con signo positivo si nos encontramos el + antes que - (como V_6), y con signo negativo si encontramos el - antes que el + (V_1 , V_2 y V_5).

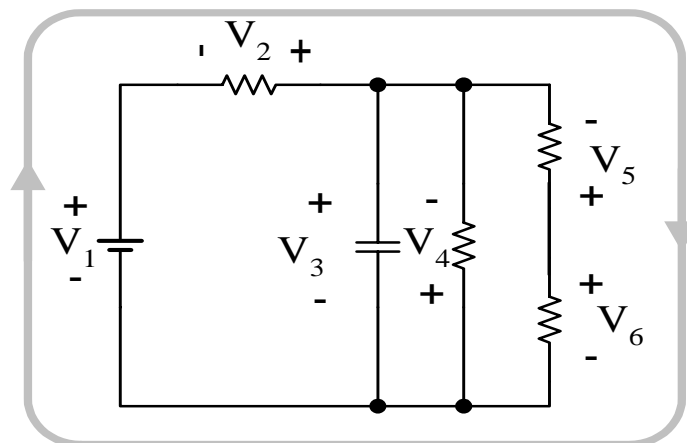


Figura 11. Circuito del ejemplo 2.

4.4. Leyes de los dispositivos

Las Leyes de Kirchhoff son una herramienta muy poderosa para la resolución de circuitos, sin embargo, NO SON SUFICIENTES para resolver un problema completo. Para resolver un circuito hay que tener en cuenta además las ecuaciones que añaden los propios dispositivos que lo componen.

Un dispositivo puede tener dos o más terminales (puntos de conexión), pero vamos a comenzar estudiando dispositivos de dos terminales. Un dispositivo típico de dos terminales se representa en la figura 12.

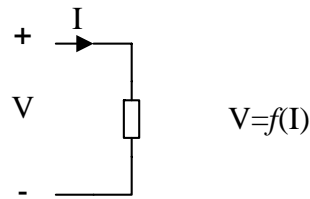


Figura 12. Ejemplo de dispositivo cualquiera de dos terminales.

Un dispositivo estará caracterizado por una función que relaciona su tensión con su intensidad ($V = f(I)$). Notar que para definir completamente esta función es necesario especificar las referencias de tensión e intensidad que se están considerando. Por tanto, habrá que tener cuidado con las referencias a la hora de aplicar la fórmula.

Ejemplo 3. Plantear las ecuaciones para resolver el circuito de la figura 13. Se conoce que las ecuaciones de los dispositivos son válidas definiendo las referencias de tensión e intensidad tal como están en la figura.

Como se ha dicho anteriormente, resolver un circuito consiste en calcular el valor de corriente y la tensión de cada una de sus ramas.

Resultado de aplicar la Ley de corrientes de Kirchhoff:

$$\text{Nodo 1: } -I_1 - I_2 = 0$$

$$\text{Nodo 2: } I_2 - I_3 = 0$$

Resultado de aplicar la Ley de tensiones de Kirchhoff:

$$-V_1 + V_2 + V_3 = 0$$

Ecuaciones de los dispositivos:

$$V_1 = f(I_1)$$

$$V_2 = f(I_2)$$

$$V_3 = f(I_3)$$

Como podemos ver hay seis ecuaciones con seis incógnitas. Por tanto, aplicando la Leyes de Kirchhoff y las ecuaciones que unen tensión e intensidad en cada uno de sus dispositivos se puede resolver cualquier problema de teoría de circuitos.

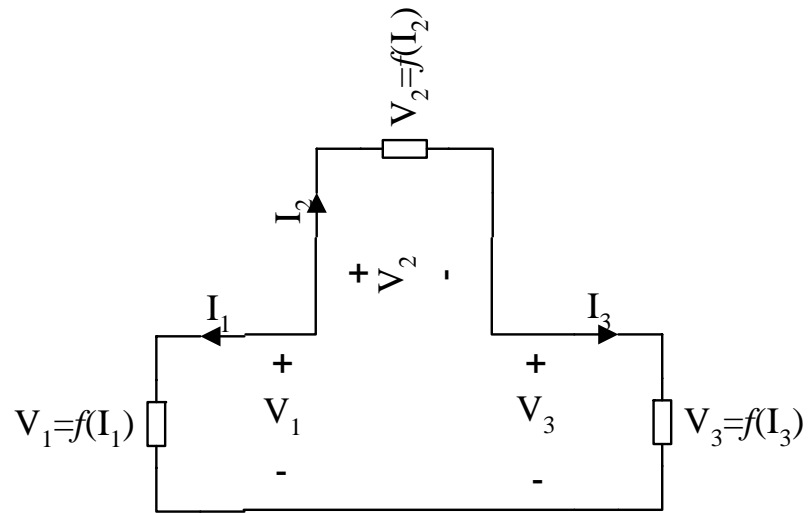


Figura 13. Circuito del ejemplo 3.