

# Tema 1. Teoría de Circuitos. DC

# Índice

Conceptos básicos: magnitudes eléctricas, unidades. El Sistema Internacional. Elementos de un circuito. Conexión de elementos. Asociación de elementos.

Leyes de Kirchhoff

Divisores de tensión y corriente

Principio de superposición

Circuitos equivalentes. Teoremas de Thevenin y de Norton

- **Carga eléctrica:** propiedad de la materia que reside en alguna de sus partículas elementales, responsable de muchos fenómenos físicos (culombios, C)
- **Circuito eléctrico:** modelo simplificado de una instalación eléctrica. Asociación de elementos activos o pasivos conectados en serie/paralelo por donde puede circular corriente.

**Tipos de materiales:**

- ☞ Conductores (Cu, Al, Ag, Au)
- ☞ Semiconductores (Si, Ge, GaAs)
- ☞ Aislantes (vidrio, porcelana, cerámicas)

**Magnitudes eléctricas:**

- ☞ **Intensidad de corriente**,  $I = \Delta Q / \Delta t$  (amperios, A)
- ☞ **Tensión** (voltaje, diferencia de potencial, fem),  $V$  (voltios, V)  
Representa la energía por unidad de carga [ $V = J / C$ ]
- ☞ **Potencia**,  $P = V \cdot I$  (vatios, W) [ $W = J / s$ ]
- ☞ **Energía** (julios, J)  $E(t) = \int_{t_0}^t P(t) dt = \int_{t_0}^t V(t) \cdot I(t) dt$

# El Sistema Internacional de Unidades

“El Sistema legal de Unidades de Medida obligatorio en España es el sistema métrico decimal de siete unidades básicas, denominado **Sistema Internacional de Unidades (SI)**, adoptado en la Conferencia General de Pesas y Medidas y vigente en la Comunidad Económica Europea”

REAL DECRETO 1317/1989

- El SI tiene **siete unidades básicas de medida** (no se derivan de otras).
- Los símbolos de las unidades se **expresan con minúsculas** (**m**, **kg**), excepto si dichos símbolos corresponden a unidades derivadas de nombres propios, caso en el que **su letra inicial es mayúscula** (**A**, **Hz**).
- Los símbolos **no cambian cuando se trata de varias unidades**, es decir, no debe añadirse una “s” (**kgs**). Tampoco debe situarse un punto a continuación de un símbolo (**kg.**), salvo al final de una frase.

UNIDAD	NOMBRE	SÍMBOLO
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura	kelvin	K
Intensidad luminosa	candela	cd
Cantidad de sustancia	mol	mol

# El Sistema Internacional de Unidades

- Además de las unidades básicas, en el SI existen **unidades derivadas**, que se pueden expresar en función de las básicas.
- Los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades del SI se forman con prefijos que anteceden sin espacio al símbolo de la unidad (**kV**, **μA**, **ns**). Algunos de ellos son:

UNIDAD	NOMBRE	SIMBOLO	UNIDADES BÁSICAS
Energía	julio	J	$[\text{N}\cdot\text{m}]$ $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$
Voltaje	voltio	V	$[\text{J}/\text{C}]$ $\text{kg}\cdot\text{m}^2/(\text{A}\cdot\text{s}^3)$
Potencia	vatio	W	$[\text{J}/\text{s}]$ ó $[\text{V}\cdot\text{A}]$ $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^3$

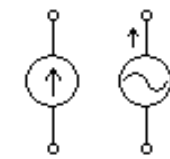
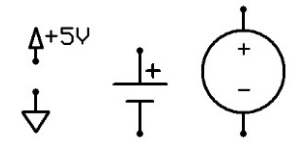
MÚLTIPLO	NOMBRE	SIMBOLO
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k

SUBMÚLTIPLO	NOMBRE	SIMBOLO
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	μ
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p

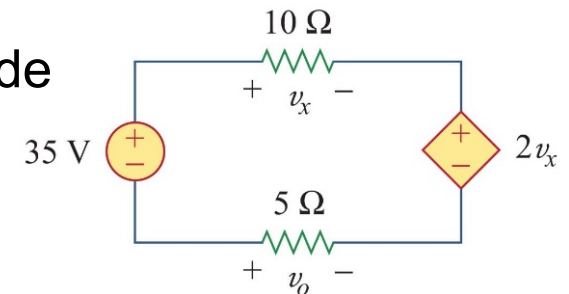
# Elementos de un circuito

## Elementos activos, generan energía neta (fuentes o generadores):

- Fuente de tensión continua, DC (pila, batería):** genera una diferencia de potencial constante entre sus terminales
- Fuente de tensión alterna, AC:** ídem, pero con una d.d.p variable en el tiempo (onda sinusoidal, cuadrada, triangular, diente de sierra...)
- Fuente de corriente (AC o DC):** genera una corriente eléctrica en el sentido indicado por la flecha

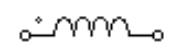
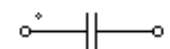


Existen fuentes **independientes y dependientes**. El valor de la tensión (o corriente) en estas últimas depende de la tensión o corriente en otra parte del circuito



## Elementos pasivos, consumen o almacenan energía (cargas del circuito):

- Resistencia:** consume energía y la disipa en forma de calor
- Condensador:** almacena energía en forma de campo eléctrico
- Bobina:** almacena energía en forma de campo magnético



## Resistencia

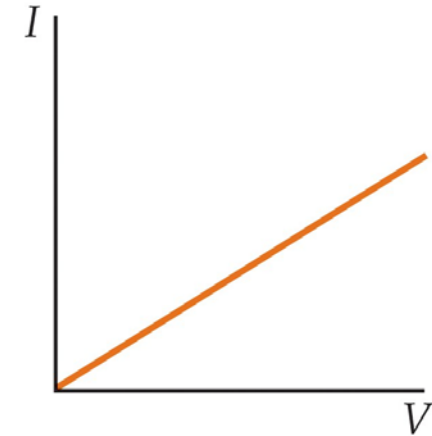
- Símbolo circuital:



- Da idea de la **oposición del material al paso de la corriente** a través de él
- Se mide en **ohmios** ( $\Omega$ )
- $v(t) = Ri(t)$  Para valores constantes  $V = I \cdot R$
- **Potencia** en una resistencia:

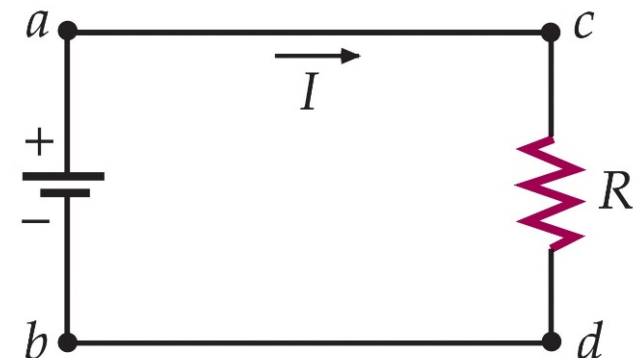
$$P = V \cdot I = \frac{V^2}{R} = I^2 R$$

- ✓ El circuito eléctrico más sencillo es el que consta de una fuente de tensión, una resistencia eléctrica y dos cables conductores “ideales” (con resistencia eléctrica nula):



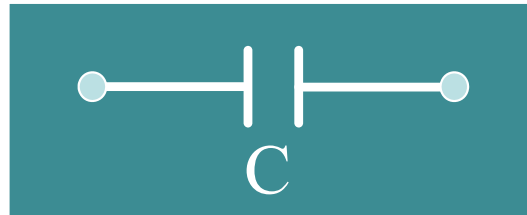
*¿Cuánto vale la pendiente “m”?*

→ Ley de ohm



## Condensador (capacidad)

- Símbolo circuital:



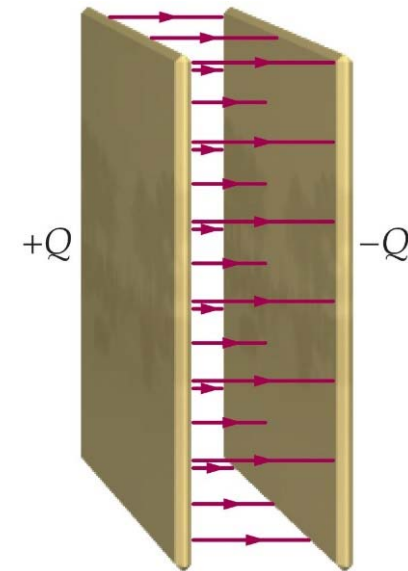
- La **capacidad C** de un condensador da idea de cuánta carga eléctrica puede almacenar. Depende del material ( $\epsilon_r$ ) y de las dimensiones geométricas (d,A)

La capacidad se mide en **faradios** (F). Un faradio es la capacidad de un condensador que almacena 1 C de carga al aplicarle una tensión de 1 V

- Se **consideran elementos lineales**, como las resistencias, aunque su relación corriente-tensión es:

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$$

- Si v es constante,  $i = 0$  (circuito abierto en DC)



$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

**¿Cómo se puede modificar C sin cambiar las dimensiones del condensador?**



## Bobina

- Símbolo circuital:



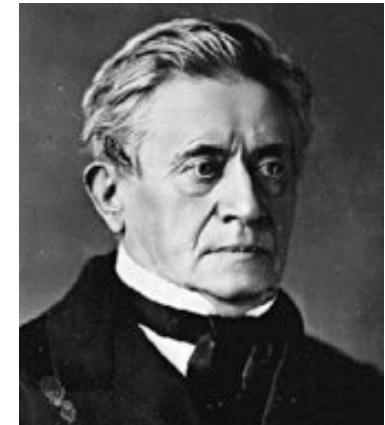
- **L** (autoinductancia o coeficiente de autoinducción) da idea de la relación entre el flujo magnético provocado por el paso de corriente y dicha corriente:

$$\phi_m(t) = L \cdot i(t)$$

- La inductancia se mide en **henrios (H)**, en honor a Joseph Henry (1797-1878). 1 H es igual a 1 Wb/A = (T·m<sup>2</sup>)/A en el SI.
- Se **consideran elementos lineales**, como las resistencias, aunque su relación corriente-tensión, que proviene de la Ley de Faraday, es:

$$v(t) = -L \frac{d\phi_m(t)}{dt} = -L \frac{di(t)}{dt}$$

- Si *i* es constante, *v* = 0 (cortocircuito en DC)

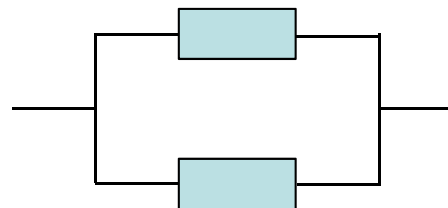


## Formas de conexión entre los elementos de un circuito

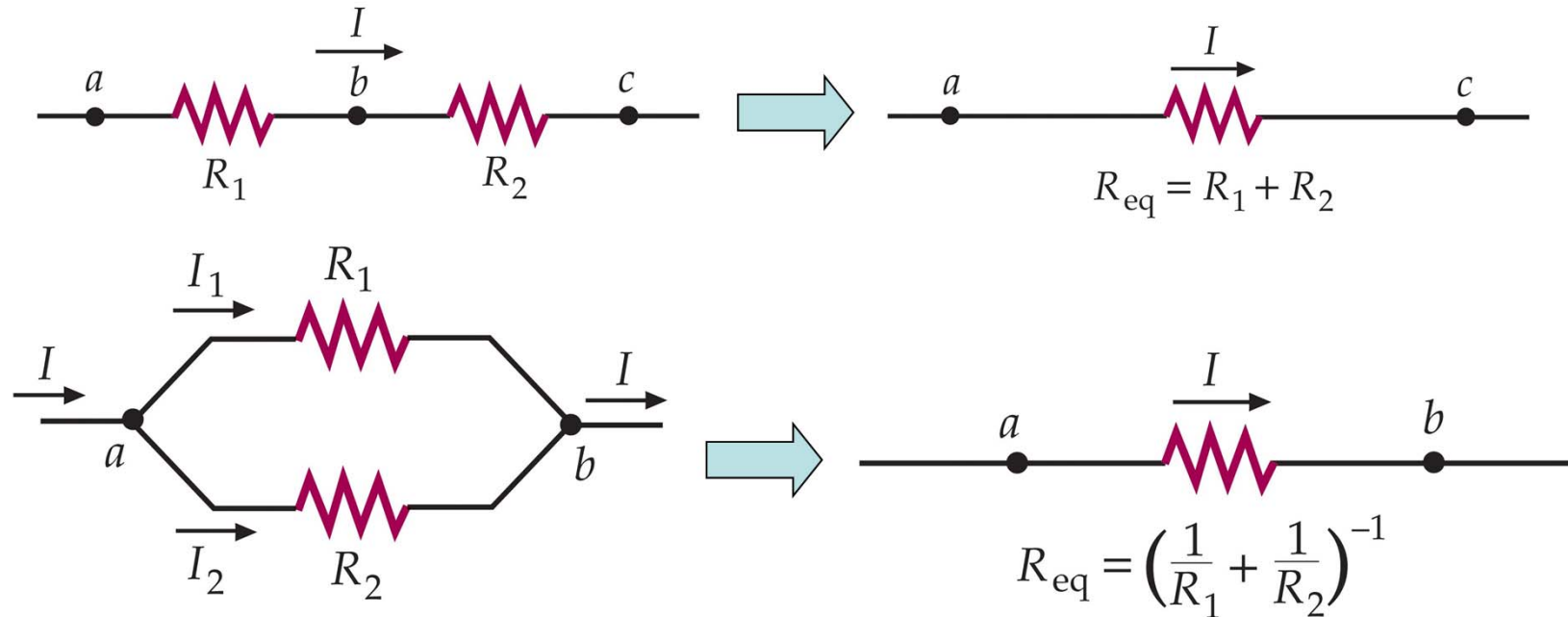
- 1. Serie.** La conexión entre dos o más elementos es en serie cuando son **recorridos por la misma intensidad** de corriente. Cada elemento tiene un extremo común con el siguiente.



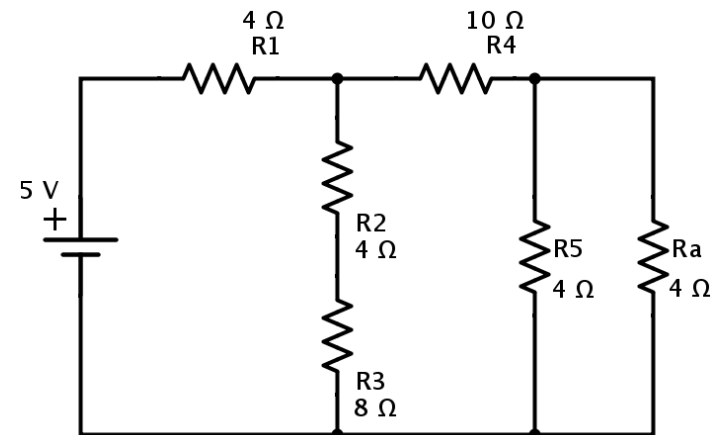
- 2. Paralelo.** La conexión entre dos o más elementos es en paralelo cuando **todos están sometidos a la misma diferencia de potencial**. Cada elemento queda unido a los demás por los dos extremos.



# Asociación de resistencias en serie y en paralelo

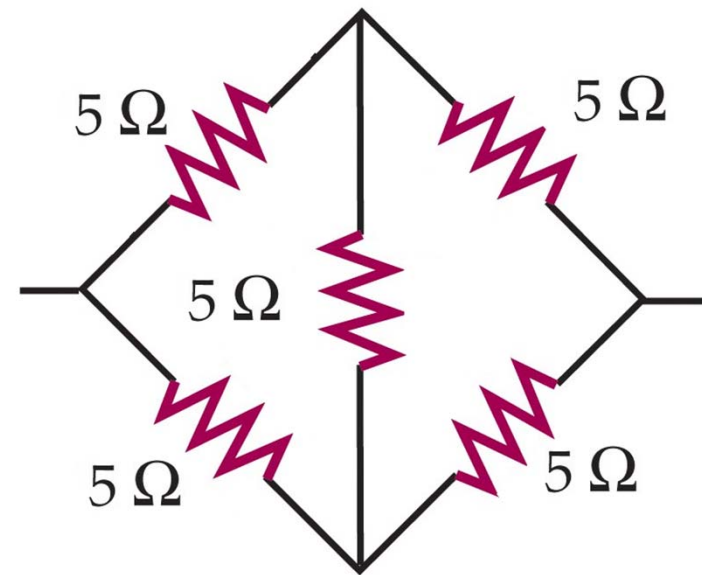
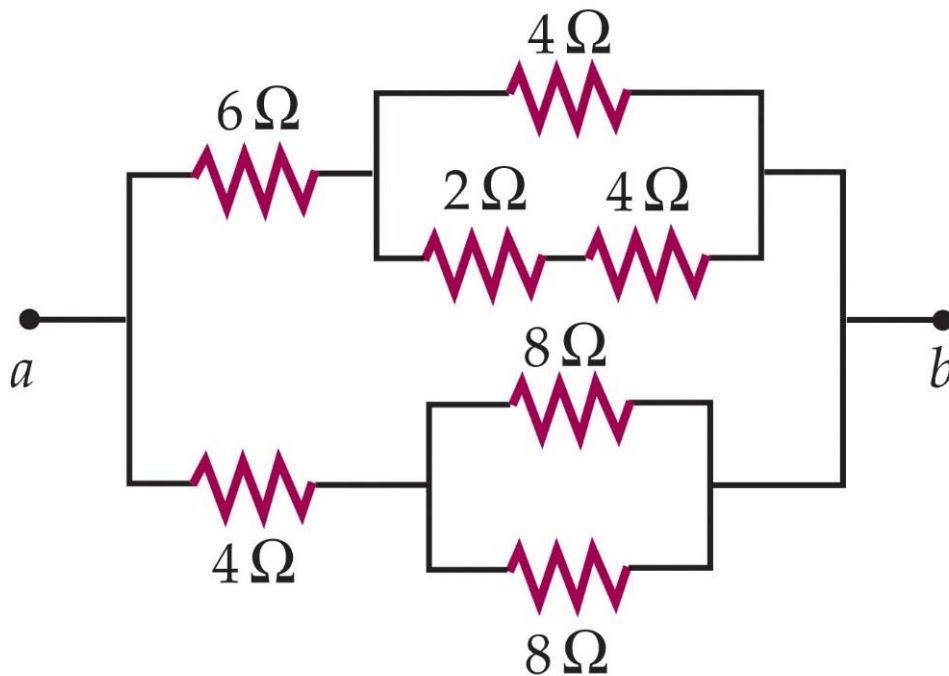


**Ejemplo:** Calcula la corriente  $I$  y la potencia  $P$  que proporciona la fuente de tensión del circuito de la figura:



# Asociación de resistencias en serie y en paralelo

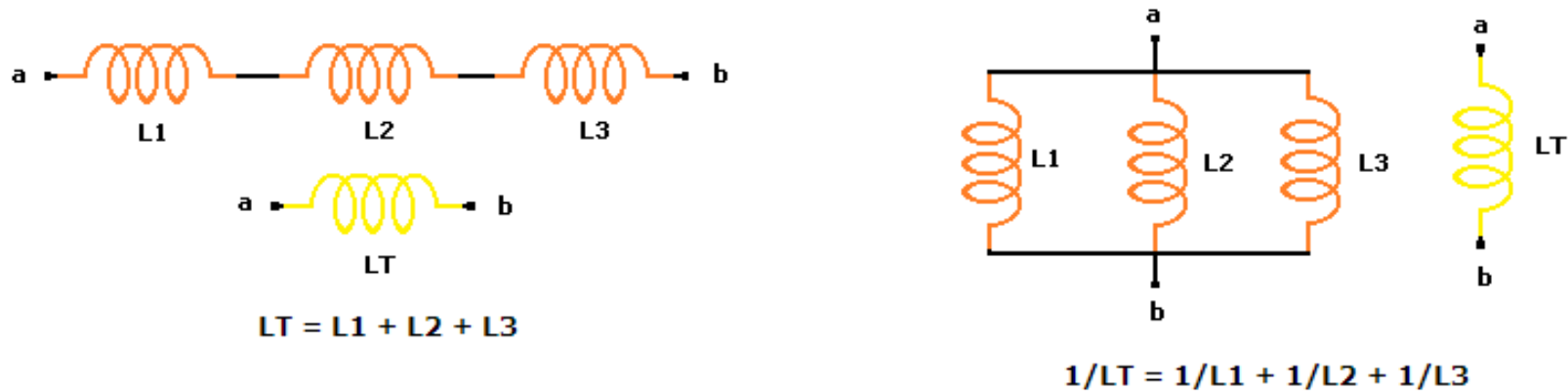
**Más ejemplos:** Calcula la resistencia equivalente, vista desde los terminales indicados, de las siguientes asociaciones de resistencias:



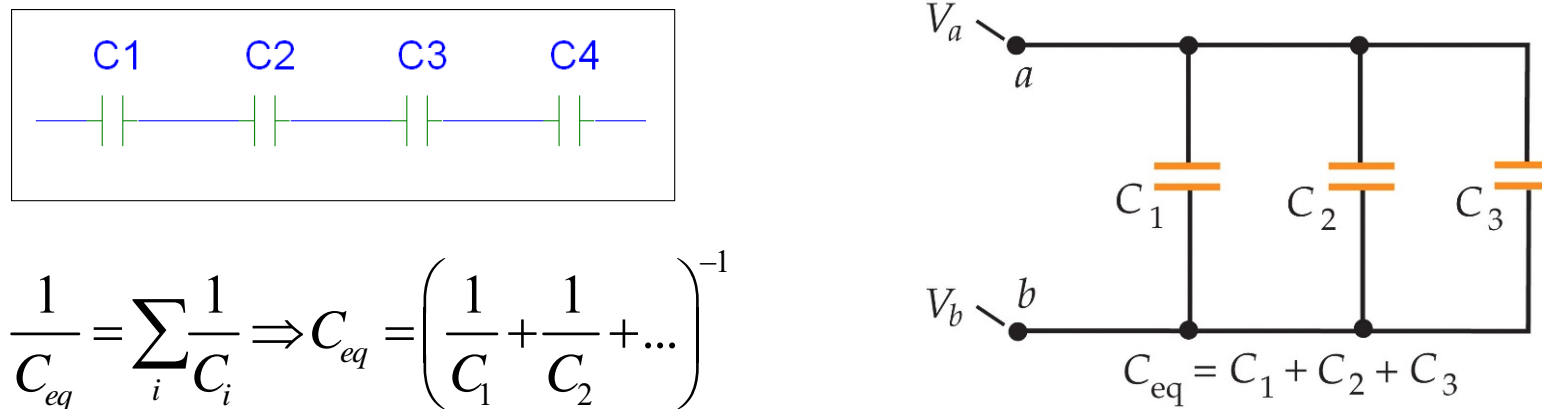
*¿Qué ocurre en este caso?*

## Asociación de otros elementos en serie y en paralelo

**Bobinas.** Se asocian con las mismas reglas que las resistencias:

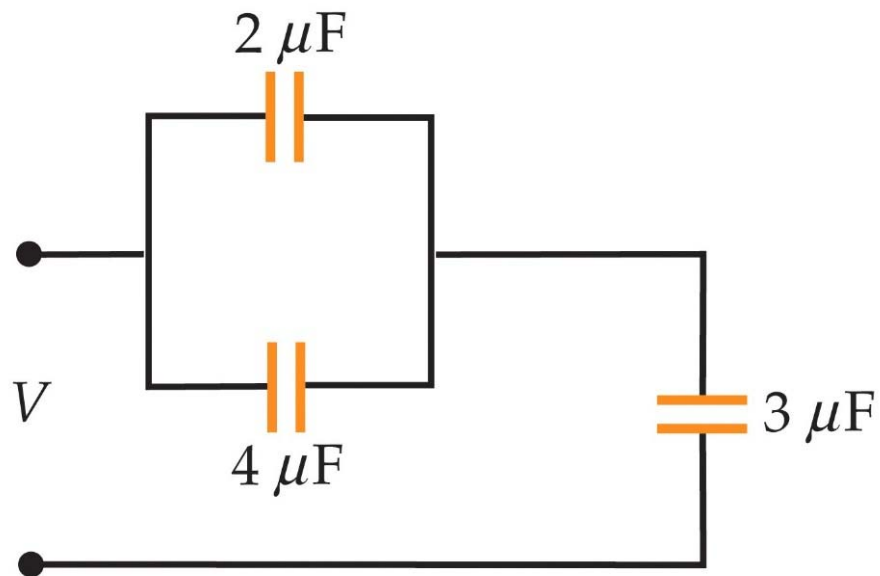


**Condensadores.** Se asocian con las reglas “opuestas” a resistencias y bobinas:

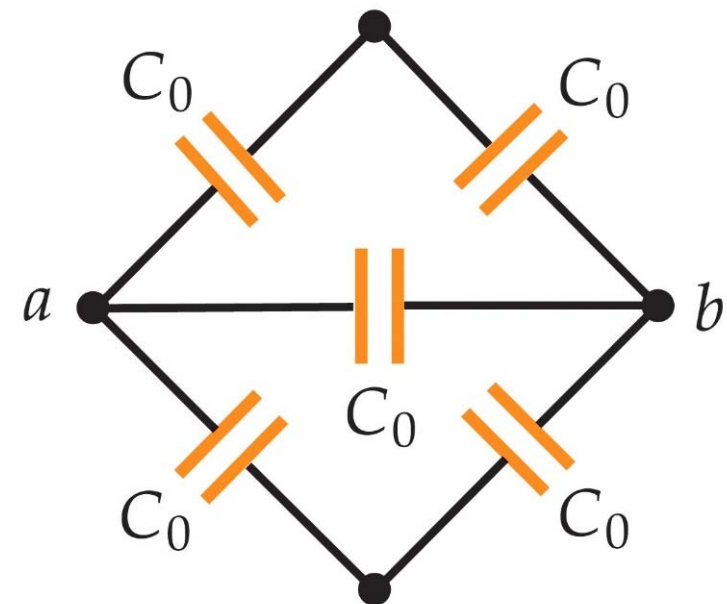


## Asociación de otros elementos en serie y en paralelo

**Ejemplos:** Calcula la capacidad equivalente, vista desde los terminales indicados, de las siguientes asociaciones de condensadores:



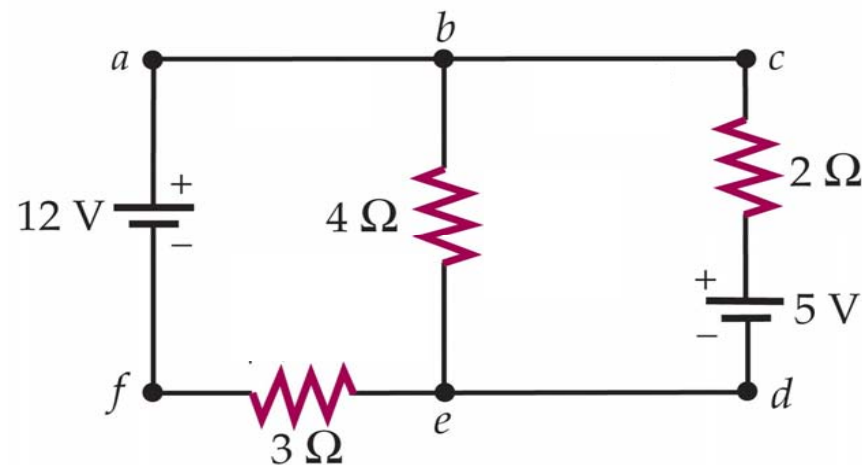
*Asociación 1*



*Asociación 2 (entre a y b)*

## Análisis de circuitos eléctricos.

- ✓ Analizar (o resolver) un circuito eléctrico consiste en **calcular las corrientes y las tensiones en el circuito**, conocidos los elementos que componen el circuito y su disposición en el mismo.
- ➔ ¿Se puede resolver este circuito utilizando únicamente las reglas de asociación de resistencias vistas hasta ahora?



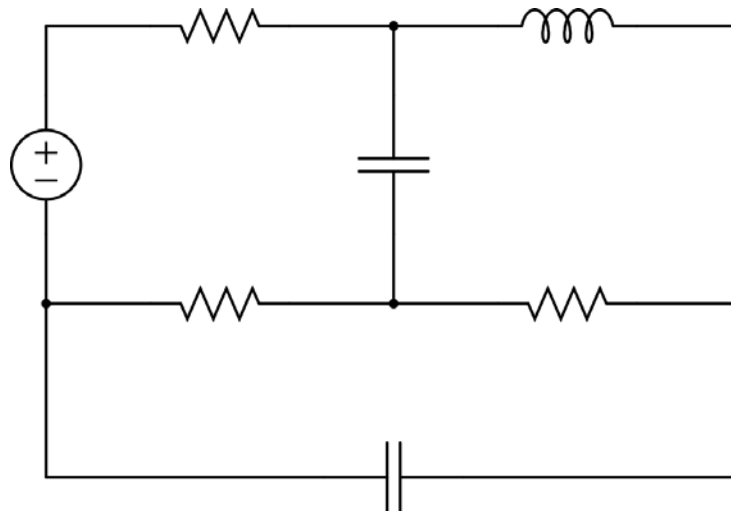
Necesitamos herramientas adicionales: las llamadas **leyes de Kirchhoff**

# Leyes de Kirchhoff

*Conceptos previos:*

- ☞ **Nudo (o “nodo”)**: punto de conexión de tres o más hilos conductores.
- ☞ **Rama**: tramo de hilo conductor entre dos nudos.
- ☞ **Malla**: cualquier camino cerrado que pueda ser definido en el circuito

**Ejemplos:** indica cuántos nudos, ramas y mallas hay en el siguiente circuito:





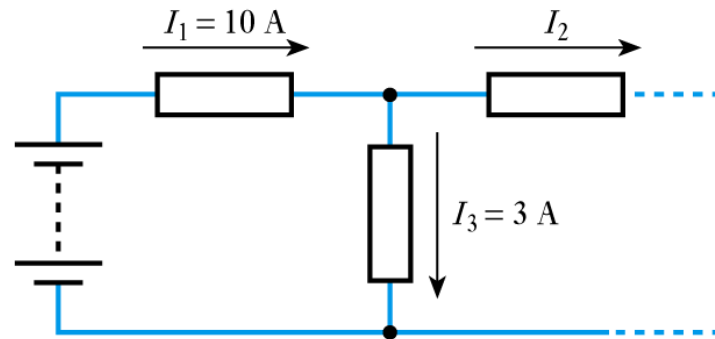
# Leyes de Kirchhoff

- Las leyes de Kirchhoff son en realidad dos **REGLAS**, enunciadas por el físico alemán Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), que permiten la **obtención sistemática de las ecuaciones necesarias para la resolución de los circuitos eléctricos**.
- Las reglas de Kirchhoff **son aplicables a cualquier tipo de circuito eléctrico**, ya sea de corriente continua o de corriente alterna, y con independencia de los elementos que contenga (R, L, C, fuentes, diodos, transistores...)
- Los circuitos no se resuelven únicamente con las leyes o reglas de Kirchhoff. **Es necesario además conocer la relación entre la corriente que circula por un elemento del circuito y su tensión**. Dicha relación  $I = I(V)$  se llama “**curva característica**”:
  - ✓ **Resistencias, condensadores, bobinas:** ya estudiadas.
  - ✓ **Diodos, transistores:** Bloque II (electrónica analógica)



# Leyes de Kirchhoff

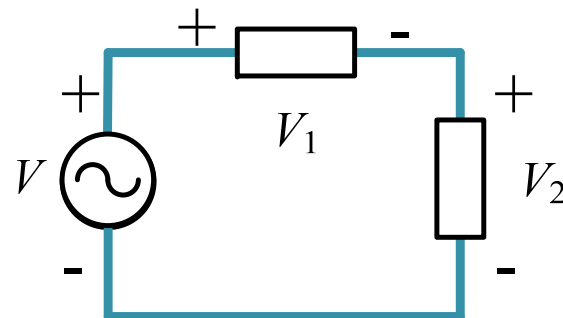
**1ª Ley de Kirchhoff (ley de los nudos).** *La suma algebraica de las intensidades que concurren en un nudo es igual a cero. Se consideran positivas las entrantes y negativas las salientes.*



$$\sum_i I_i = 0$$

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

**2ª Ley de Kirchhoff (ley de las mallas).** *La suma algebraica de las diferencias de potencial de todos los elementos de una malla es igual a cero.*



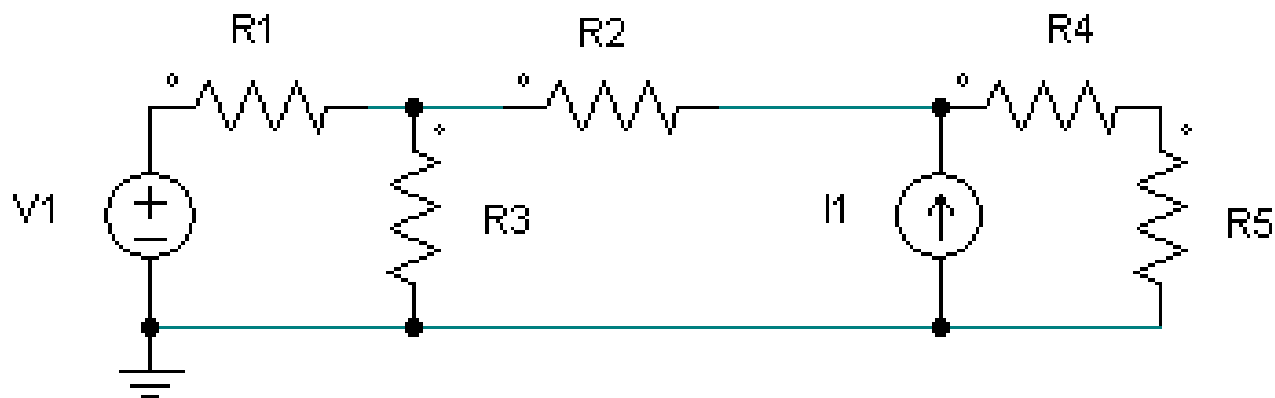
$$\sum_i V_i = 0$$

$$V - V_1 - V_2 = 0$$

## Principio de superposición

La respuesta de un circuito lineal dado a una suma de entradas (fuentes de excitación) será igual a la suma de las respuesta de cada una de las entradas aplicadas individualmente

**Ejemplo:** Circuito con dos fuentes, una de tensión ( $V_1$ ) y otra de corriente ( $I_1$ ). Se puede resolver resolviendo dos circuitos más sencillos. En el primero se anula la fuente de corriente, en el segundo se anula la fuente de tensión. Para terminar se suman los resultado.

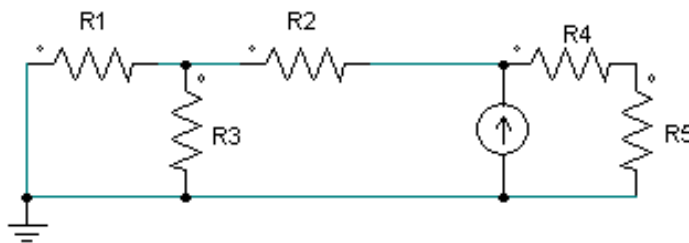


## Anulación o puesta a cero de fuentes de V e I

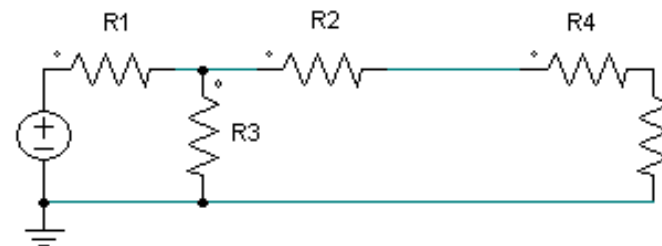
- Anular o poner a cero una **fente de tensión** equivale a **cortocircuitar sus bornes (  $V = 0 V$  )**
- Anular o poner a cero una **fente de corriente** equivale a **dejar en circuito abierto sus bornes (  $I = 0$  en dicha rama )**

**Ejemplo anterior:** Si hacemos cero la fuente de tensión nos queda el circuito de la derecha. Si hacemos cero la fuente de corriente nos queda el de la izda

Con  $V_1=0$



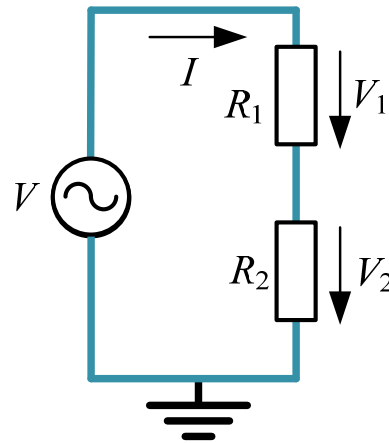
Con  $I_1=0$



# Divisores de tensión y de corriente

**Problema:** como dividir una fuente (de tensión o corriente) de valor “x”, en dos fuentes de valor “y” y “x-y”.

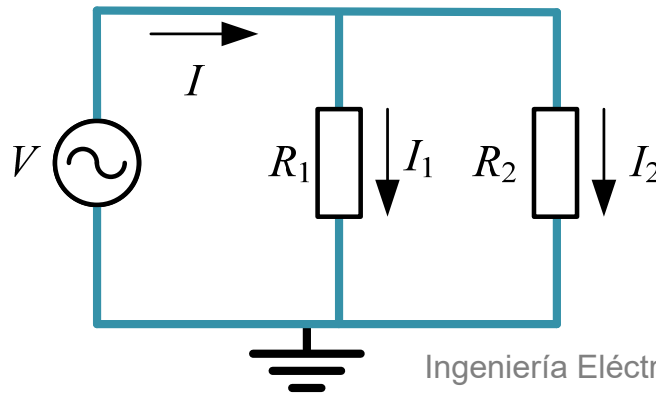
## Esquema básico del divisor de tensión



$$I = \frac{V}{R_1 + R_2} \quad V_1 = I \cdot R_1; \quad V_2 = I \cdot R_2$$

$$V_1 = \frac{R_1 \cdot V}{R_1 + R_2}; \quad V_2 = \frac{R_2 \cdot V}{R_1 + R_2}$$

## Esquema básico del divisor de corriente



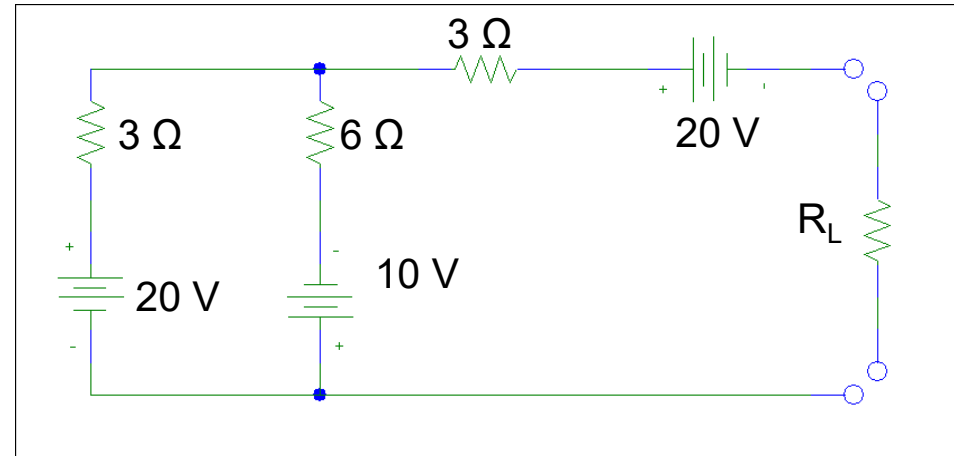
$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2; \quad I = I_1 + I_2$$

$$I_1 = I - I_2 = I - I_1 \frac{R_1}{R_2}$$

$$I_1 = \frac{R_2 \cdot I}{R_1 + R_2}; \quad I_2 = \frac{R_1 \cdot I}{R_1 + R_2}$$

# Teoremas de reducción de circuitos. Circuitos equivalentes

Supongamos que es necesario **calcular la corriente  $I$**  que circula por la resistencia  $R_L$  del siguiente circuito para 10 valores diferentes de la misma:



Para resolver el problema sería necesario:

1. Construir los 10 circuitos diferentes que se obtienen de conectar las 10 resistencias  $R_L$  diferentes.
2. Resolver los 10 circuitos utilizando las reglas de Kirchhoff.



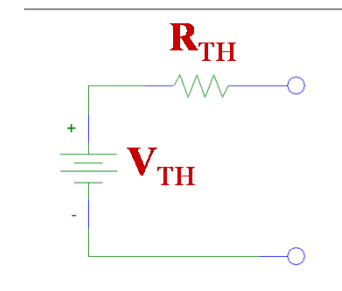
Existe otra solución mucho más sencilla para este problema:

1. Buscar un **circuito equivalente** al que se tiene, pero **MÁS SENCILLO**, que permita simplificar los cálculos.
2. Conectar las 10  $R_L$  al **circuito equivalente sencillo** y resolver el sistema.

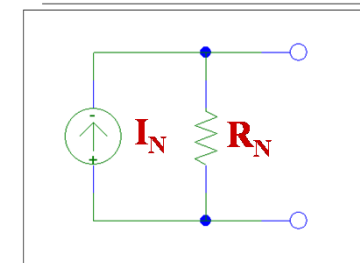
# Teoremas de reducción de circuitos. Circuitos equivalentes

- ✓ Un circuito equivalente de uno dado es otro ficticio que, visto desde sus terminales, **SE COMPORTA igual que el dado**.
- ✓ Un circuito equivalente NO es igual que el original, tan sólo su **comportamiento** (hacia el exterior) resulta equivalente al del original.
- ✓ Las ventajas se obtienen si el circuito equivalente es **MUCHO MÁS SENCILLO** que el circuito original, dado que así se simplifica su análisis (ejemplo anterior).

➤ Uno de los circuitos equivalentes más extendidos es el **circuito equivalente de Thevenin**. Sólo necesita una fuente de tensión y una resistencia



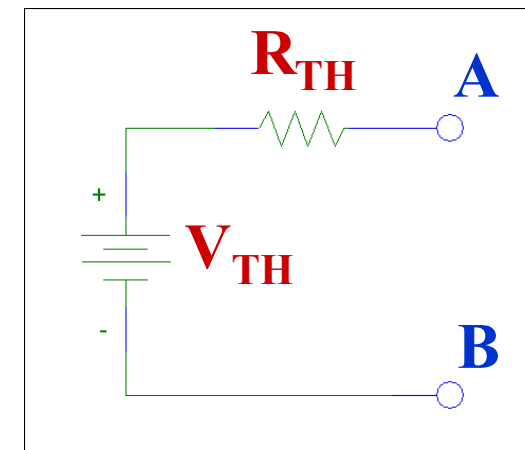
➤ Otro es el circuito **equivalente de Norton**. Está formado por una fuente de corriente y una resistencia



## Circuito equivalente de Thévenin

*“Cualquier circuito resistivo (que únicamente contenga resistencias y fuentes) puede ser representado por un circuito más sencillo formado por una única fuente de voltaje ( $V_{th}$ ) y una resistencia ( $R_{th}$ ) en serie con dicha fuente”.*

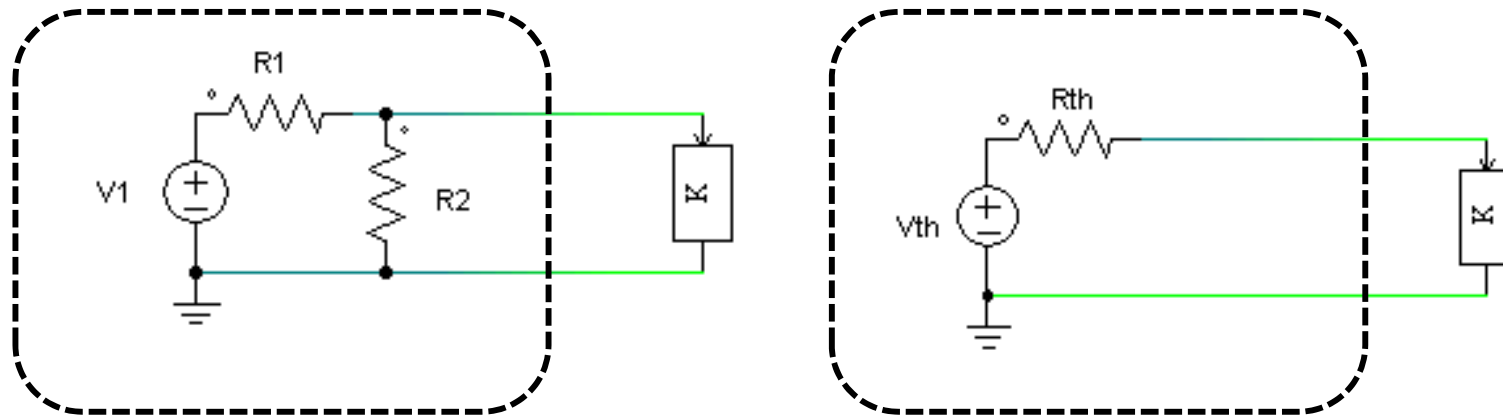
- ✓ El propio **teorema de Thevenin** (así llamado en honor a León Charles Thévenin, 1857-1926) también especifica la manera de calcular la tensión y la resistencia Thevenin:
  - La **tensión Thevenin**  $V_{TH}$  es igual a la diferencia de potencial, con su signo, que aparece entre los terminales A y B del circuito original cuando éstos están abiertos.
  - La **resistencia Thevenin**  $R_{TH}$  es igual a la que aparece entre los terminales A y B cuando se anulan las fuentes del circuito original.





# Teoremas de reducción de circuitos.

## Ejemplo de un equivalente de Thévenin



**Ejercicio:** Hallar cuanto tiene que valer  $R_{th}$  y  $V_{th}$  para que estos circuitos sean equivalentes

Solución:

$$V_{th} = V_1 \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

$$R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1}$$

## Circuito equivalente de Norton:

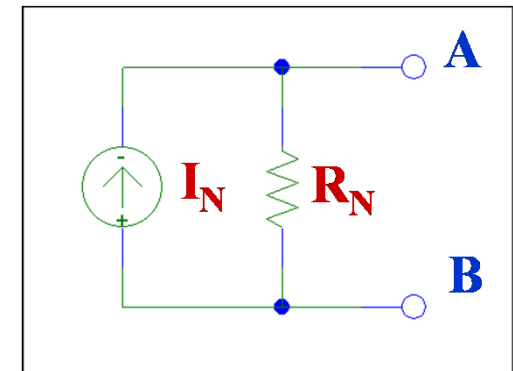
- ✓ Otro de los equivalentes más utilizados es el **circuito equivalente de Norton**, llamado así en honor a Edward Lawry Norton (1898-1983):

*“Cualquier circuito resistivo (que únicamente contenga resistencias y fuentes) puede ser representado por un circuito más sencillo formado por una única fuente de corriente ( $I_N$ ) y una resistencia en paralelo ( $R_N$ )”.*

- ✓ La **resistencia Norton**  $R_N$  se calcula igual que  $R_{TH}$ :

$$R_N = R_{TH}$$

- ✓ La **corriente Norton**  $I_N$  es la que circula entre los terminales A y B del circuito original cuando estos se cortocircuitan.



- ❖ Además, existe una **relación entre la tensión Thevenin y la corriente Norton** que facilita el cálculo de las mismas.

$$\Rightarrow I_N = \frac{V_{TH}}{R_{TH}}$$

## Resumen:

### Procedimiento general para hallar el Equivalente de Thévenin de un circuito

1. Encontrar los terminales A y B desde los que se debe calcular el equivalente. A veces hay que desconectar el elemento no lineal (si existe).
2. Determinar el voltaje del circuito abierto entre A y B ( $V_{AB}=V_{th}$ ).
3. Determinar  $R_{th}$ . Para ello cortocircuitar los terminales A y B y determinar la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  ( $R_{th}=V_{th}/I_{sc}$ )
  - \* **Alternativa a 3.** Anular las fuentes y calcular la resistencia equivalente del circuito resultante, que será igual a  $R_{TH}$

### Procedimiento general para hallar el Equivalente de Norton de un circuito

1. Se cortocircuitan A y B y se determina la corriente de cortocircuito ( $I_N=I_{sc}$ )
2. Se determina el voltaje en abierto entre A y B para hallar  $R_N=V_{AB}/I_N$ 
  - \* **Alternativa:** calcular desde el equivalente de Thevenin:

$$R_N = R_{TH} \quad I_N = \frac{V_{TH}}{R_{TH}}$$

- *Microelectrónica: circuitos y dispositivos*. M. N. Horenstein, Prentice Hall
- *Circuitos Electrónicos, análisis simulación y diseño*. N. Malik, Prentice Hall

# B

## BIBLIOGRAFÍA