

Tema 1: Análisis básico de circuitos

Enrique San Andrés



Nature as observed in experiments

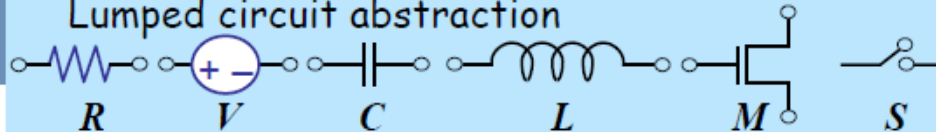
V	3	6	9	12	...
I	0.1	0.2	0.3	0.4	...

Physics laws or "abstractions"

- Maxwell's
 - Ohm's
- abstraction for tables of data

$$V = RI$$

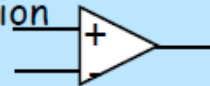
Lumped circuit abstraction



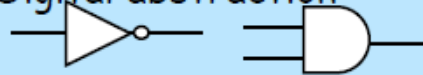
Simple amplifier abstraction



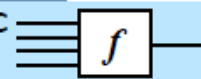
Operational amplifier abstraction



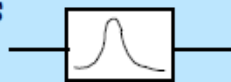
Digital abstraction



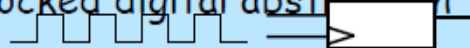
Combinational logic



Filters



Clocked digital abstraction



Analog system components:
Modulators,
oscillators,
RF amps,
power supplies

Instruction set abstraction
Pentium, MIPS

Programming languages
Java, C++, Matlab

Software systems
Operating systems, Browsers

Mice, toasters, sonar, stereos, doom, space shuttle

Leyes del electromagnetismo

- Leyes de Maxwell del electromagnetismo

Nombre	Forma <u>diferencial</u>	Forma <u>integral</u>
Ley de Gauss:	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{A} = \int_V \rho dV$
Ley de Gauss para el campo magnético (ausencia de monopolos magnéticos):	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
Ley de Faraday:	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A}$
Ley de Ampère generalizada:	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{A} + \frac{d}{dt} \int_S \vec{D} \cdot d\vec{A}$

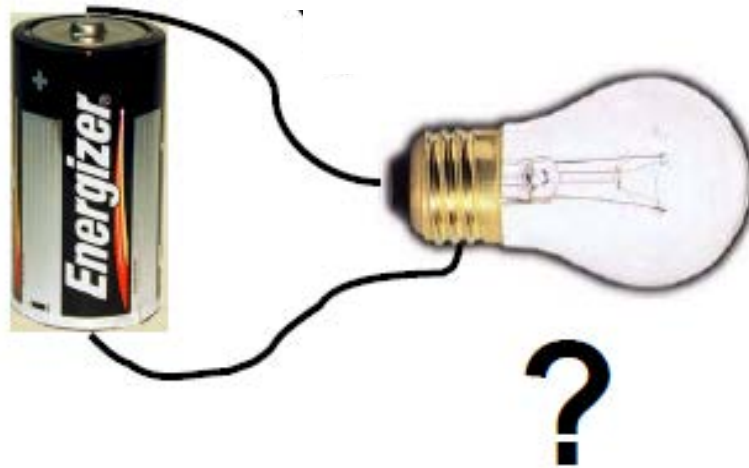
- Ecuación de continuidad

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad \oint \vec{J} \cdot d\vec{S} = -\frac{\partial q}{\partial t}$$

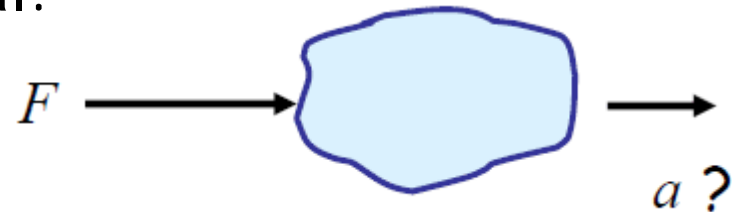


Abstracción

- ¿Cómo resolveríamos este problema?

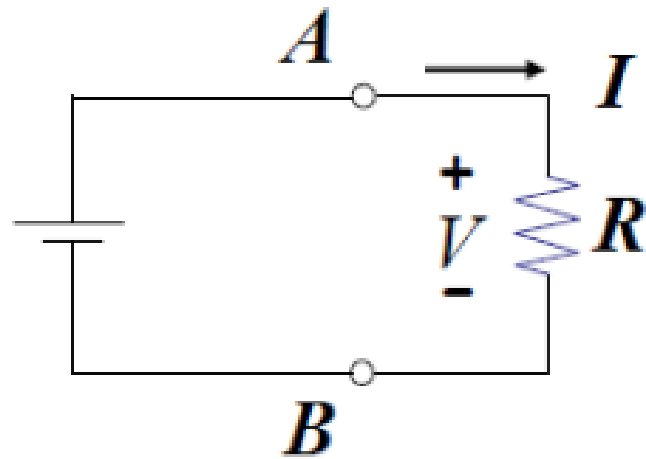
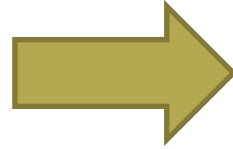
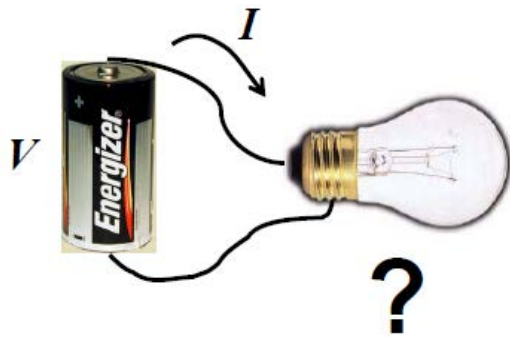


- Algo parecido en F. Gral.

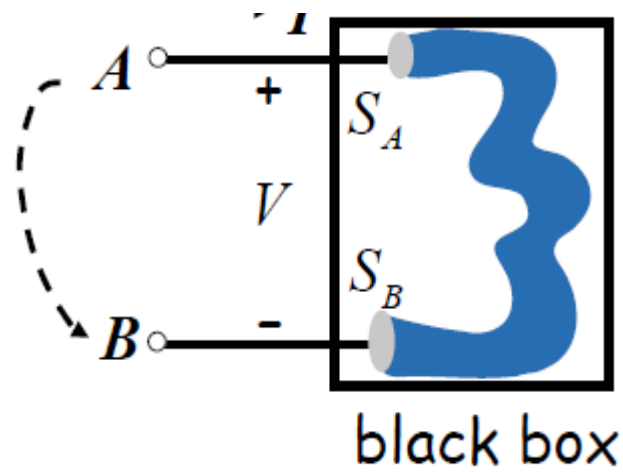


Abstracción

- Modelo de parámetros concentrados (AC)



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



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



- **Condiciones de aplicabilidad del Modelo de Parámetros Concentrados (*Análisis de Circuitos*)**

1. No hay acumulación de carga en interior de los elementos ni en los nodos (puntos de unión)

$$\frac{\partial q}{\partial t} = 0$$

2. No hay variaciones del flujo magnético en el exterior de los elementos

$$\frac{\partial \phi_B}{\partial t} = 0$$

3. Las dimensiones del circuito son mucho menores que la longitud de onda



Objetivos del tema

- Elementos básicos de un circuito DC
 - Resistencias
 - Fuentes ó generadores
- Leyes de Kirchhoff
- Métodos de análisis de circuitos DC
 - Simplificación de circuitos
 - Método de los Nodos
 - Métodos de las Mallas
 - Superposición
 - Equivalente Thévenin-Norton
- Amplificadores Operacionales ideales
 - Circuitos simples con AO en DC
- Simulación de circuitos: *Cadence Orcad*

Programa de la asignatura

1. Elementos de un circuito y métodos de análisis en corriente continua: Resistencias, fuentes de voltaje y de corriente, fuentes dependientes. Leyes de Kirchhoff. Técnicas de análisis: combinación de elementos, análisis por nodos, análisis por mallas, principio de superposición, teoremas de Thévenin y Norton. El amplificador operacional ideal. Circuitos simples con amplificadores operacionales. Análisis de circuitos asistido por ordenador.



Intensidad de la corriente eléctrica

- **Corriente:** cantidad de carga eléctrica que atraviesa una superficie por unidad de tiempo

$$i = \left. \frac{dq}{dt} \right|_s$$

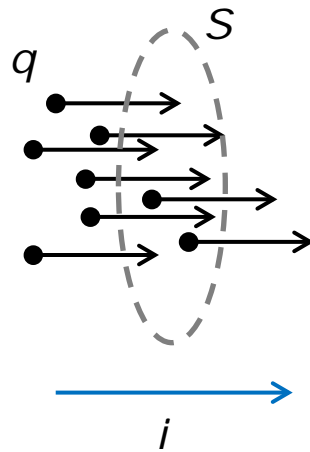


Imagen: J. Lee/NIST

Intensidad de la corriente eléctrica

- Def. de amperio (A) en el sistema internacional
 - "The ampere is that constant current which, if maintained in two straight parallel conductors of infinite length, of negligible circular cross-section, and placed 1 meter apart in vacuum, would produce between these conductors a force equal to 2×10^{-7} N per meter of length."
9th CGPM (1948)

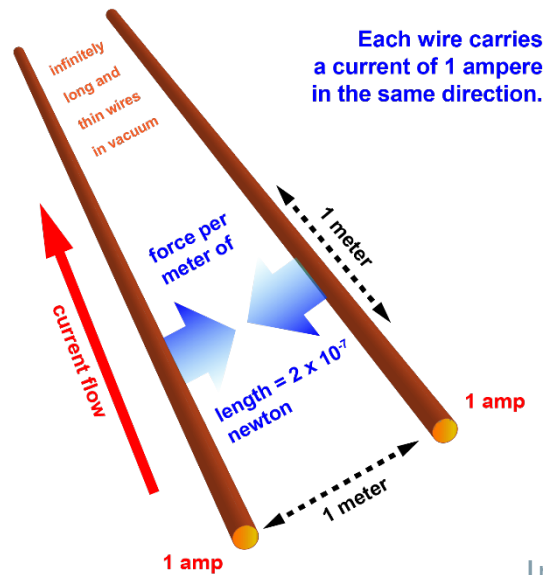
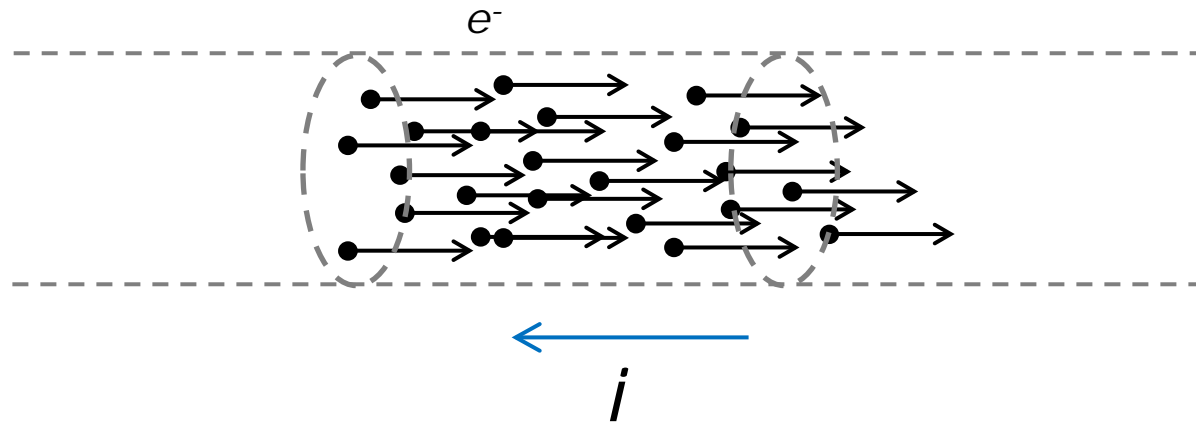


Imagen: J. Lee/NIST

The present SI definition of the ampere is based on André-Marie Ampère's famous 200-year-old experiment.

Intensidad de la corriente eléctrica

- Realidad Física: Corrientes volúmicas



- AC: Corrientes filiformes



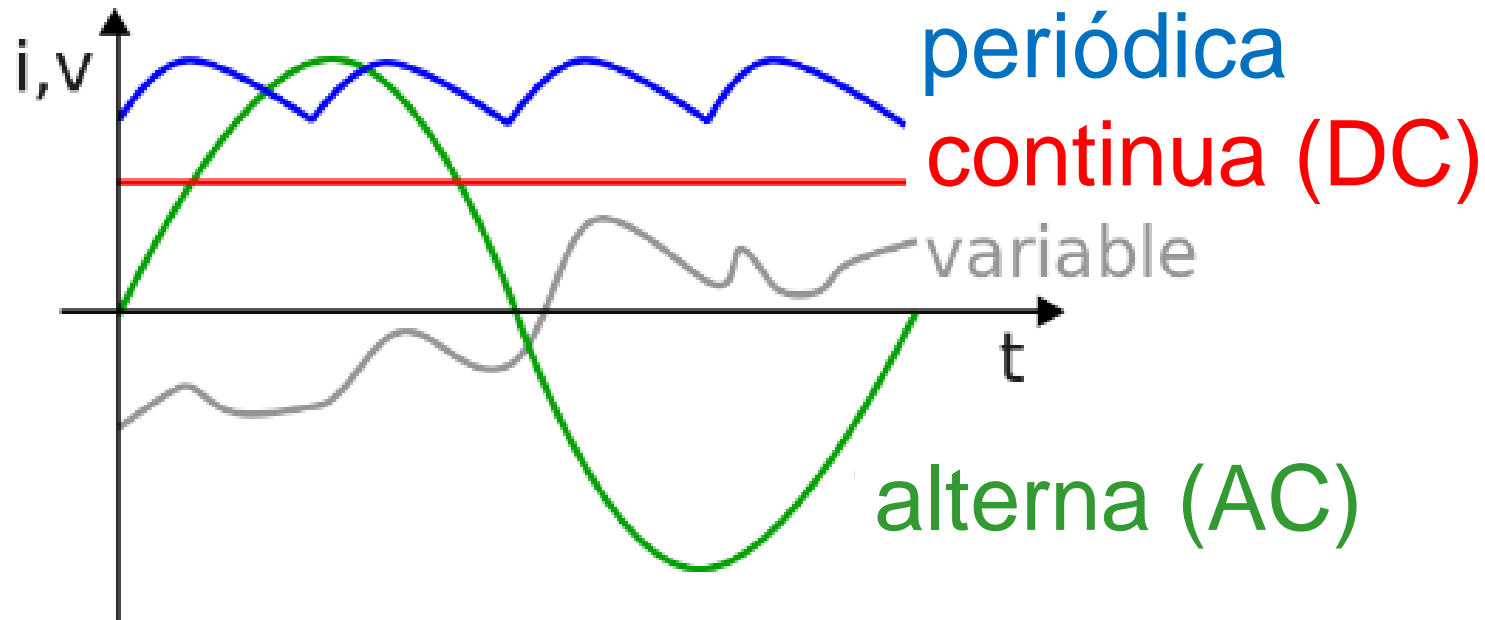
Intensidad de la corriente eléctrica

- Criterio de signos
amperímetro: Corriente **positiva** cuando es **entrante por el terminal positivo**



Intensidad de la corriente eléctrica

- Dependencia con el tiempo



- Relación carga en un intervalo de t - corriente



Tensión eléctrica

- **Tensión o diferencia de potencial v_{AB}** entre dos puntos A y B de un circuito es la energía que realiza una fuerza externa cuando desplaza una carga de 1C desde A hasta B
 - Este trabajo lo realizará un generador, que obtendrá la energía necesaria de un un campo magnético variable (alternador) o en una reacción química (batería). La tensión en abierto entre los terminales de un generador se denomina *fuerza electromotriz*.
 - Donde solo hay campo eléctrico, la tensión coincide con la diferencia entre los potenciales eléctricos

$$v_{AB} = \int_B^A \vec{E} d\vec{l}$$

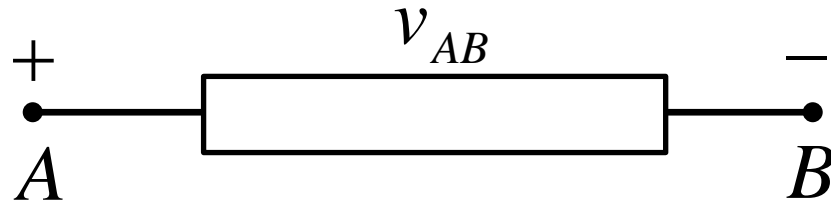
- Las cargas se mueven si hay diferencias de potencial ($v > 0$)

$$[v] = V \text{ (voltio)} = \frac{1 J}{1 C}$$



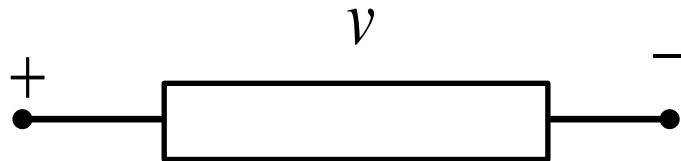
Tensión eléctrica

- Tensión entre terminales de un elemento



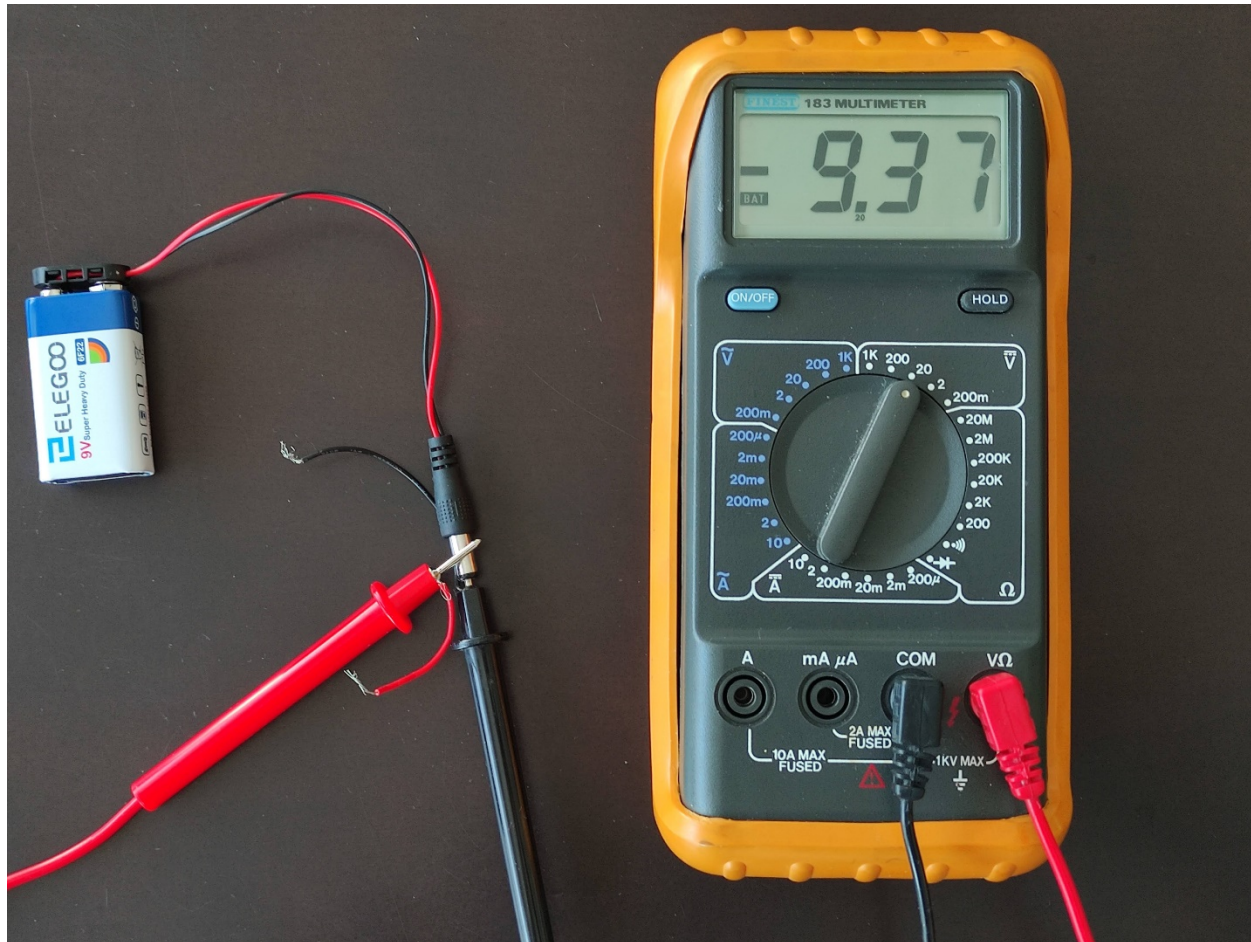
$$v_{AB} = -v_{BA}$$

- Notación equivalente



Tensión eléctrica

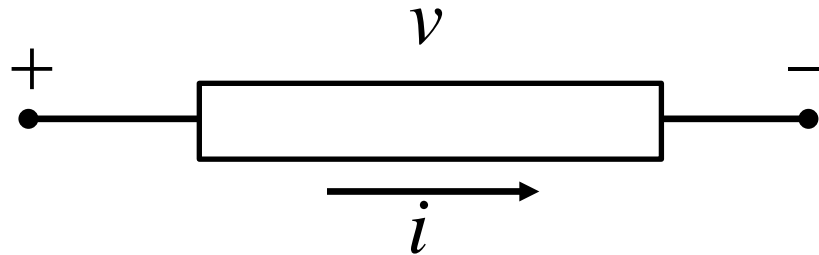
- Medida de la tensión con voltímetro



Potencia eléctrica

- **DISCIPLINA DE SIGNOS:**

- Para resolver un circuito, en cada elemento elegiremos el sentido de la corriente " i ". Entonces la tensión " v " de dicho elemento se elige como la diferencia de potencial entre el terminal por el que entra la corriente y el terminal por el que sale.



- La **potencia** es la cantidad de energía absorbida por un elemento del circuito en la unidad de t

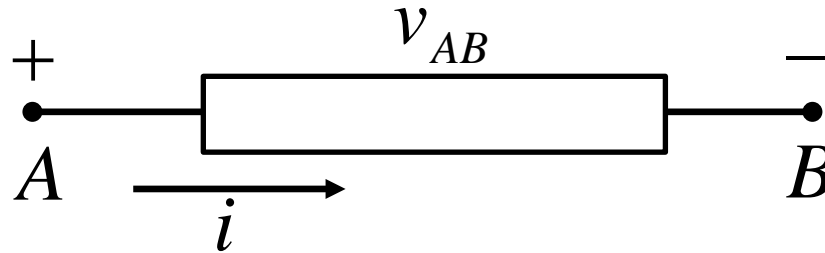
$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = v \times i$$

- Unidad: **vatio** $1W = 1V \times 1A$



Potencia eléctrica

- Consecuencia de la disciplina de signos
 - El elemento **disipa** potencia si $vi=p>0$
 - El elemento **suministra** potencia si $vi=p<0$



Potencia eléctrica

- ¿Absorbe o inyecta potencia?

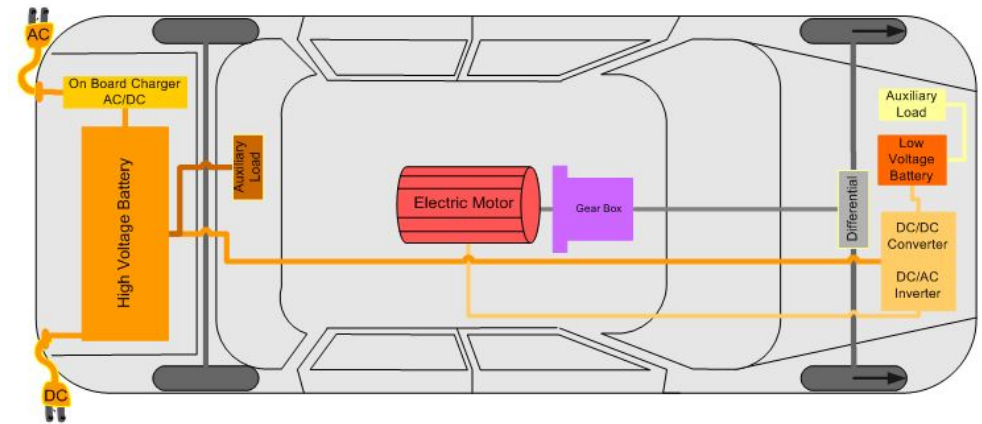
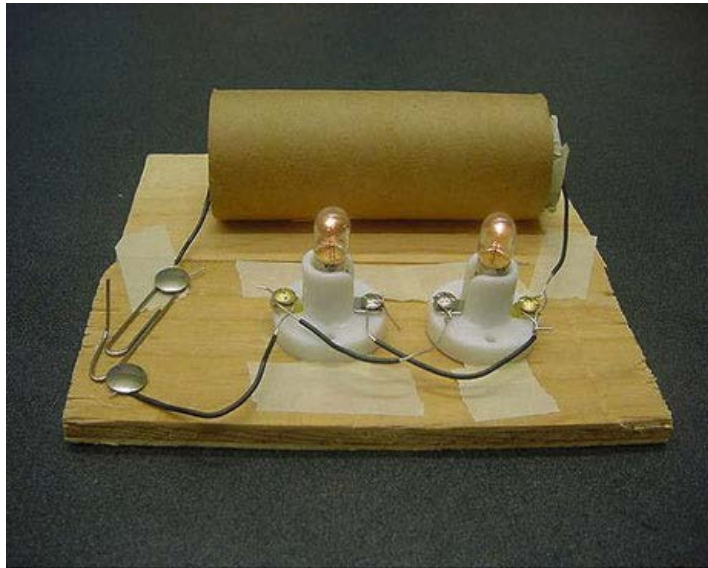
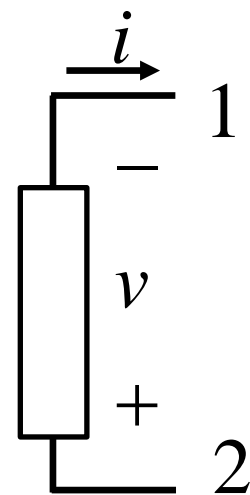
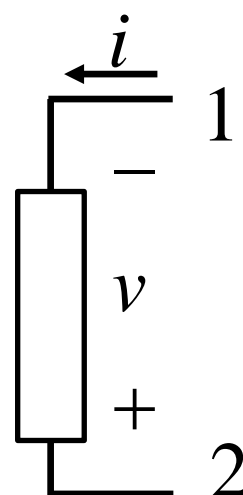
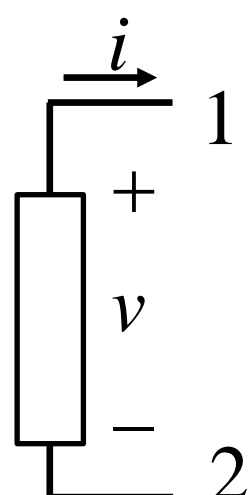
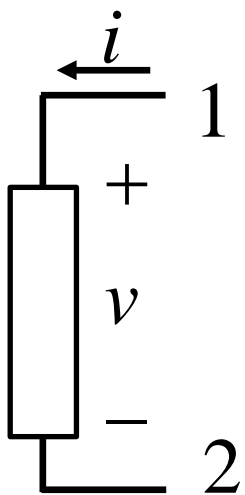


Figura: www.intechopen.com

Ejemplo

- Supongamos que existe una caída de tensión de 15V entre los terminales 1 y 2 de un elemento de un circuito, y entra una corriente de 5A por el terminal 2.
- Especificar en cada figura valores de v e i . ¿Cuáles cumplen la disciplina de signos? Calcular vi en cada caso ¿En cual disipa y en cual entrega potencia?



Ley de la conservación de la Potencia

- “La suma algebraica de la potencia en un circuito eléctrico es nula en cualquier instante de tiempo”

$$\sum_{\text{elementos}} P_n = 0; \quad \sum P_{\text{generada}} + \sum P_{\text{absorbida}} = 0$$



Energía total en un intervalo de tiempo

- Puede ser absorbida (>0) o entregada (<0)

$$p = \frac{dW}{dt} \Rightarrow dW = p dt$$

$$\int_{t_1}^{t_2} dW = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt \Rightarrow W = \int_{t_1}^{t_2} v(t) i(t) dt$$

- Unidad de energía en SI: julio (\mathcal{J}) ($1W \times 1s$)
- ¿Unidades en recibo de la luz?



Elementos activos y pasivos

- Def: Un elemento es **pasivo** si no puede suministrar una potencia promedio mayor que cero
 - Promedio desde $-\infty$ a $+\infty$
- Def: un elemento es **activo** si es capaz de suministrar energía promedio mayor que cero a un elemento externo .
- Encuesta: ¿Activo o pasivo?
 - Resistencia
 - Fuente ideal de tensión
 - Condensador
 - Fuente ideal de corriente
 - Fuente real de tensión
 - Pila de 1.5V



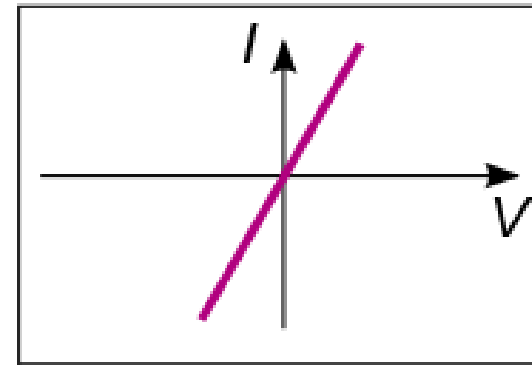
Característica $i-v$ de un elemento

- Es la relación entre la corriente que lo atraviesa y la tensión entre sus terminales

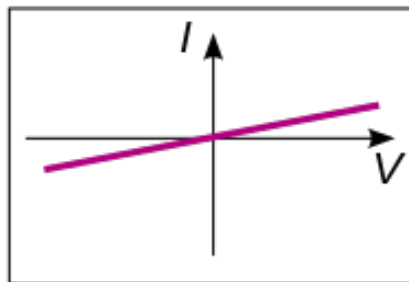
V[V]	I[A]
-1.0	-0.10
-0.5	-0.05
0.0	0.00
0.5	0.05
1.0	0.10

$$I = \frac{V}{10}$$

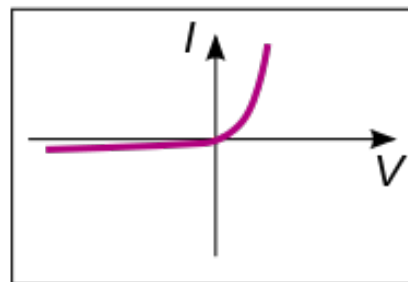
Small resistance



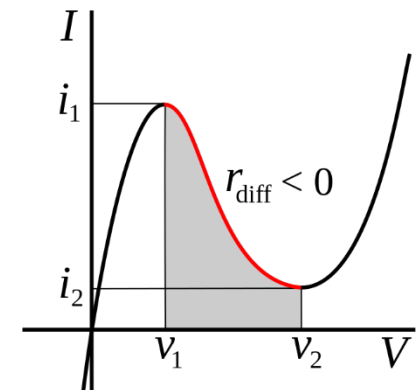
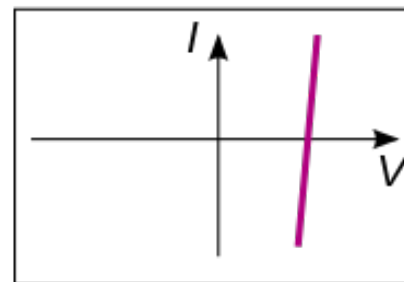
Large resistance



Diode



Battery



Imágenes: wikipedia

Ley de Ohm

- En 1827 el físico alemán Georg S. Ohm determinó experimentalmente que en algunos “bloques” de determinados materiales la tensión y la corriente eran proporcionales

$$V = R I$$

- El factor de proporcionalidad R se denomina **Resistencia**
 - Unidad: **ohmio** (Ω) = V / A
- Inverso de R : **Conductancia** (G)
 - Unidad: Siemens (S), ohm^{-1} , mho, Ω

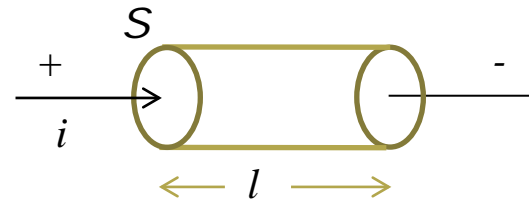
$$I = G V$$



Ley de Ohm

- Para elementos con sección S y longitud l definida:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$



- Def. **resistividad** (ρ): capacidad de un material para oponerse al desplazamiento de carga a través de él
 - Unidades: $\Omega \cdot m$
- Parámetro inverso: **conductividad** ($\sigma = 1 / \rho$)
 - Unidades: $(\Omega \cdot m)^{-1}$



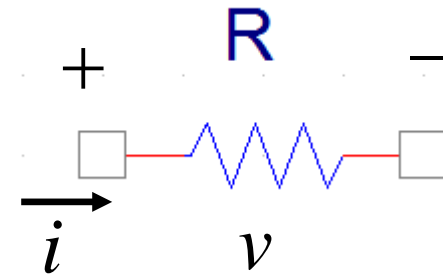
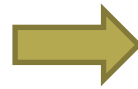
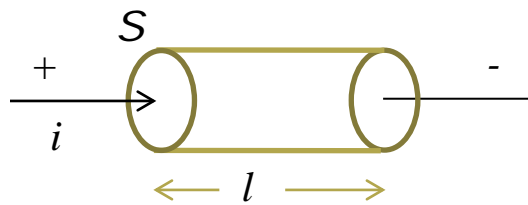
Clasificación de los materiales óhmicos

Material	Resistividad (Ohm m)	
Plata	$1.6 \cdot 10^{-8}$	} Buenos conductores
Cobre	$1.7 \cdot 10^{-8}$	
Aluminio	$2.8 \cdot 10^{-8}$	
Oro	$2.5 \cdot 10^{-8}$	
Carbón	$4.0 \cdot 10^{-5}$	
Germanio	$47 \cdot 10^{-2}$	} Semiconductores
Silicio	$6.4 \cdot 10^{+2}$	
Papel	$1 \cdot 10^{+10}$	} Aislantes
Mica	$5 \cdot 10^{+11}$	
Vidrio	$1 \cdot 10^{+12}$	
Teflón	$3 \cdot 10^{+12}$	



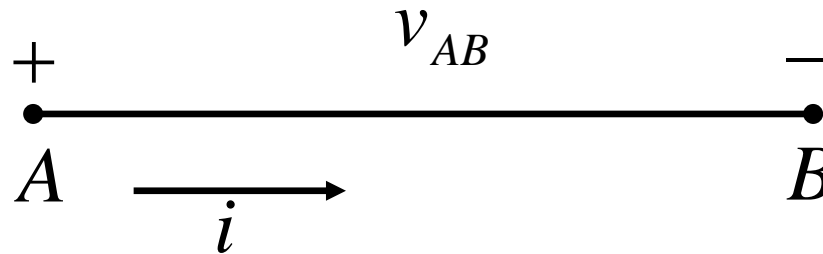
Resistencias

- Elemento de circuito

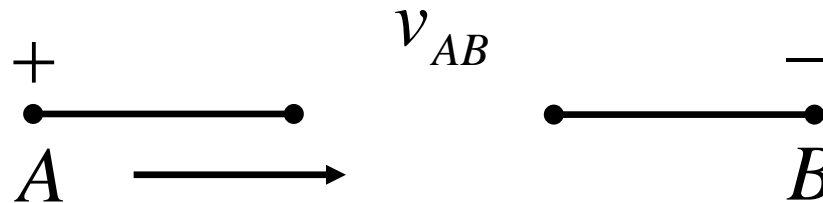


- Casos límite

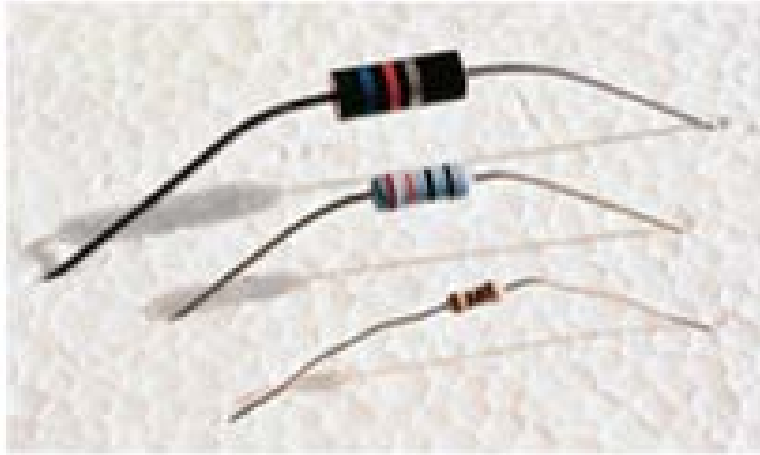
– Cortocircuito



– Circuito abierto



Resistencias reales



Múltiplos (letras Griegas)

Prefijo	Símbolo	Factor de multiplicación	
Deca	Da	10	10^1
Hecto	h	100	10^2
Kilo	k	1 000	10^3
Mega	M	1 000 000	10^6
Giga	G	1 000 000 000	10^9
Tera	T	1 000 000 000 000	10^{12}
Peta	P	1 000 000 000 000 000	10^{15}
Exa	E	1 000 000 000 000 000 000	10^{18}



Submúltiplos (latín)

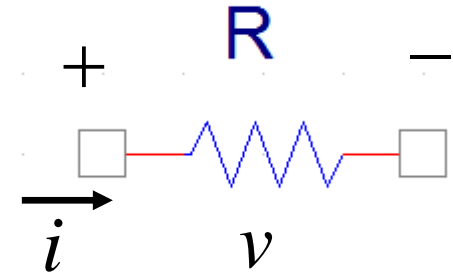
Prefijo	Símbolo	Factor de multiplicación
Deci	d	$1 / 10$ 10^{-1}
Centi	c	$1 / 100$ 10^{-2}
Mili	m	$1 / 1\ 000$ 10^{-3}
Micro	μ	$1 / 1\ 000\ 000$ 10^{-6}
Nano	n	$1 / 1\ 000\ 000\ 000$ 10^{-9}
Pico	p	$1 / 1\ 000\ 000\ 000\ 000$ 10^{-12}
Femto	f	$1 / 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$ 10^{-15}
atto	a	$1 / 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$ 10^{-18}



Resistencias

- Potencia en una resistencia

$$\left. \begin{array}{l} p = vi \\ v = Ri \end{array} \right\} p = i^2 R = \frac{v^2}{R} > 0$$



- Una resistencia es un elemento pasivo, siempre absorbe energía.
- Esta energía no desaparece, es disipada en forma de calor: efecto **Joule**



Fuentes (generadores)

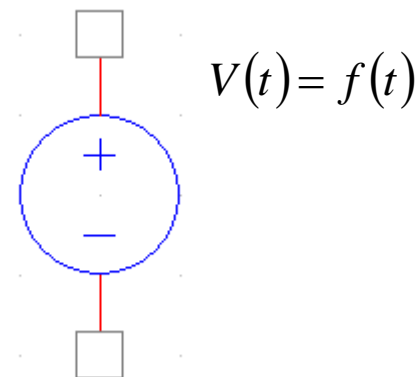
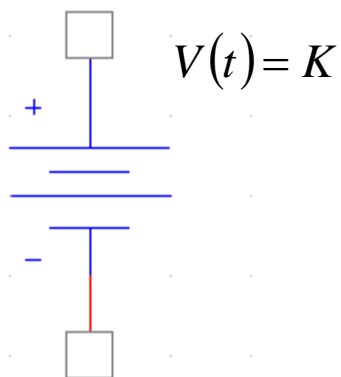
- Son elementos **activos** que generalmente suministran energía al circuito al que están conectados
- Tipos:
 - Fuente de tensión o de corriente
 - Fijas o dependientes del tiempo
 - Ideales o reales
 - Independientes o dependientes de otro parámetro del circuito



Fuentes

- **Fuente de tensión independiente ideal**

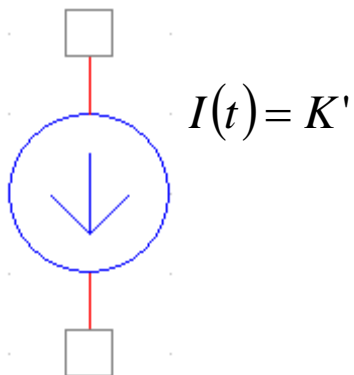
- Su tensión entre terminales es fija
- Su corriente la fija el resto de elementos del circuito
- Fuente de tensión DC
- Fuente de tensión variable con t



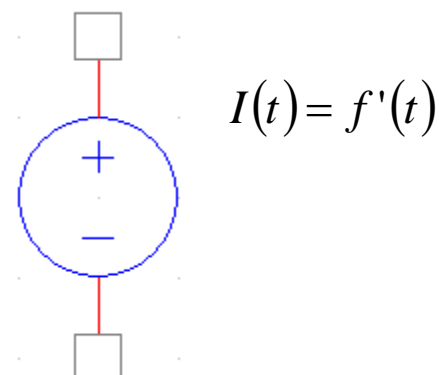
- **Fuente de corriente independiente ideal**

- Su corriente entre terminales es fija
- Su tensión la fija el resto de elementos del circuito

- Fuente de corriente DC



- Fuente de corriente variable con t

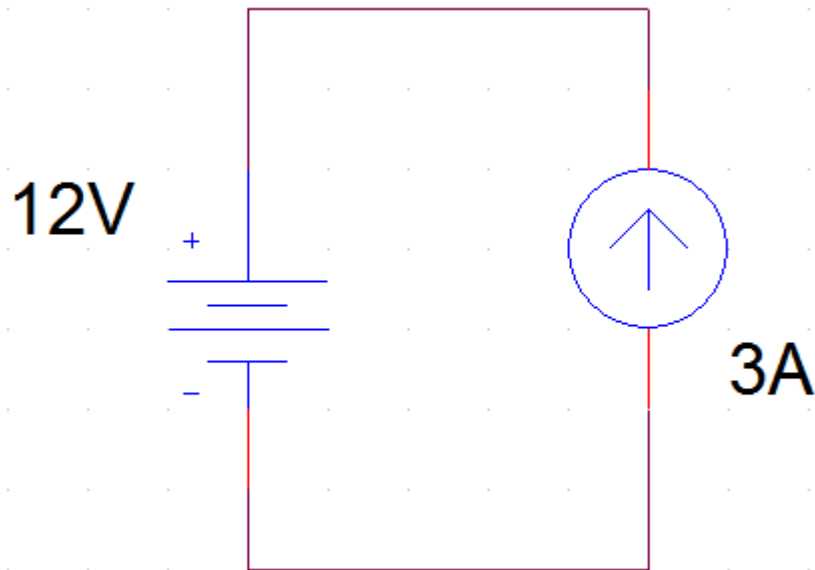


- En la naturaleza no encontramos fuentes de corriente fácilmente



Fuentes independientes

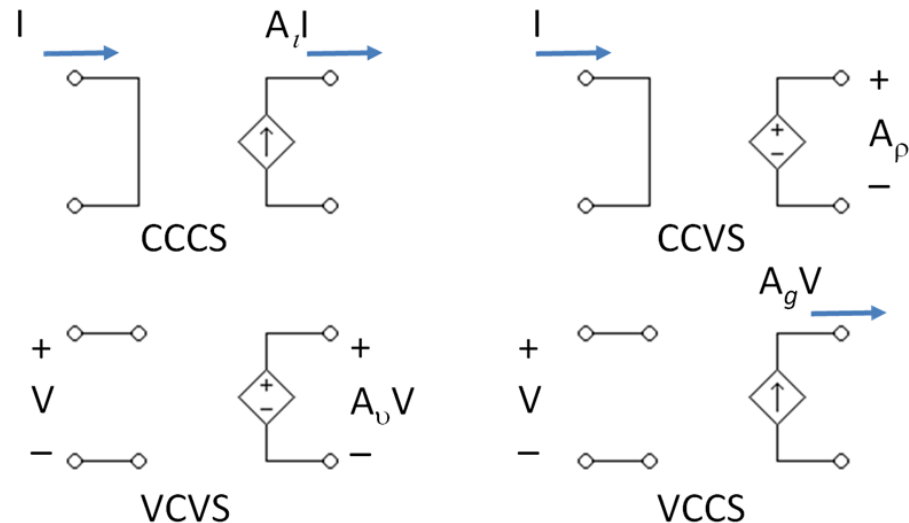
- ¿Es esta combinación posible?



Fuentes dependientes

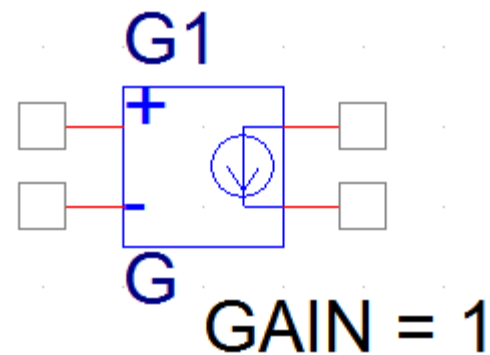
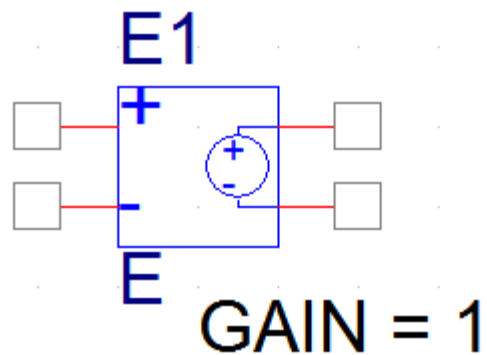
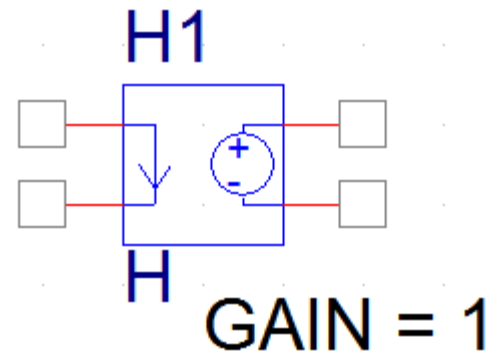
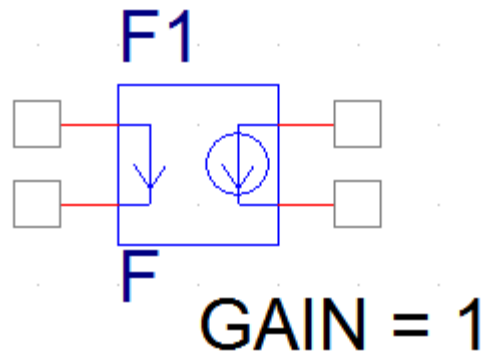
- Su valor de tensión o corriente depende de la tensión o corriente de otro punto del circuito.
- 4 posibilidades:
 - Fuente de tensión controlada por tensión (VCVS)
 - Fuente de corriente controlada por corriente (CCCS).
 - Fuente de tensión controlada por corriente (CCVS).
 - Fuente de corriente controlada por tensión (VCCS).

- Símbolos



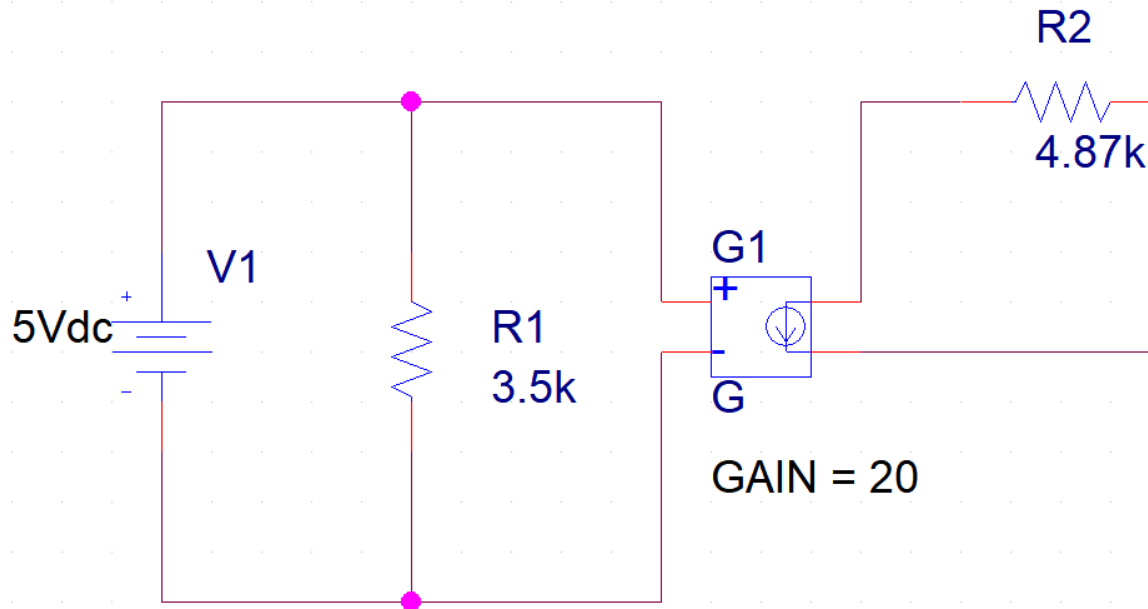
Fuentes dependientes

- Fuentes dependientes en Capture:

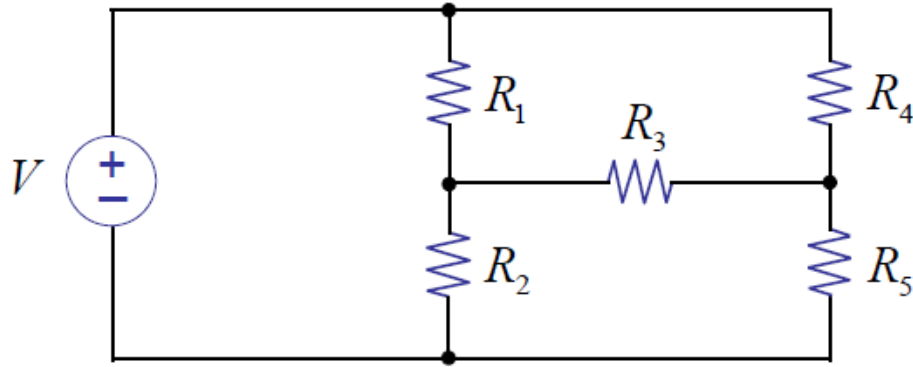


Fuentes dependientes

- Ejemplo: ¿Cuánto vale la corriente por R2?



El primer circuito (medio) complejo

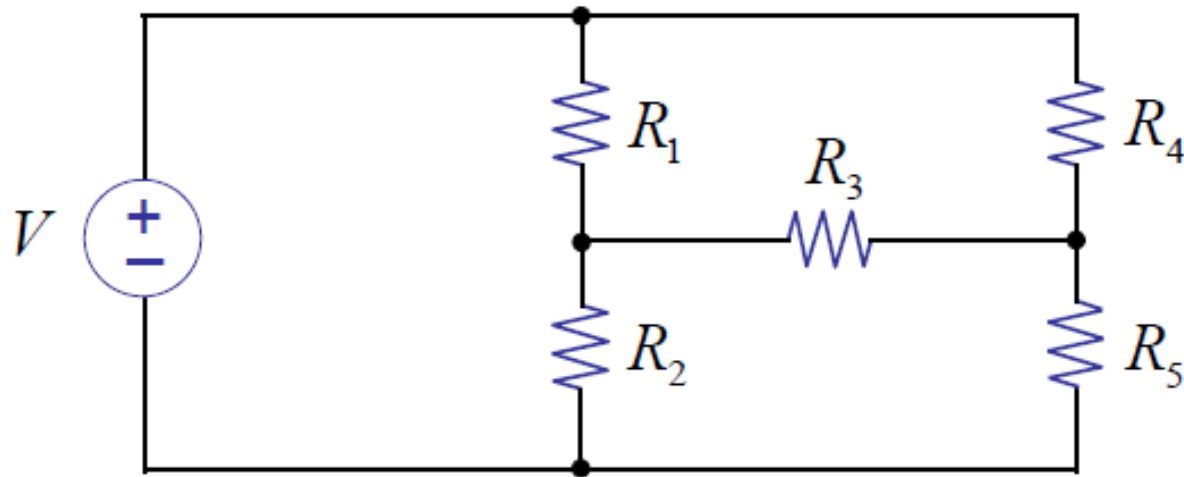


Método de resolución de AC I

- Definir las tensiones y corrientes de todos los elementos
- Escribir las relaciones I-V de los elementos
 - Resistencias
 - Fuentes de tensión
 - Fuentes de corriente
- Aplicar KCL en todos los nodos
- Aplicar KVL en todos los lazos
- Resolver el sistema
 - N elementos \Rightarrow 2N incógnitas (necesarias 2N ecuaciones)



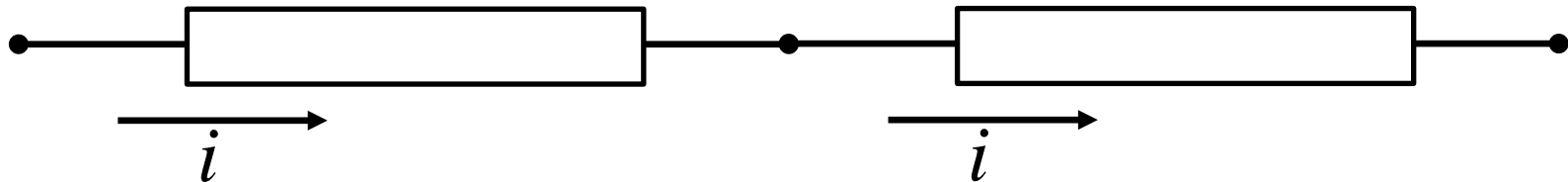
El primer circuito (medio) complejo



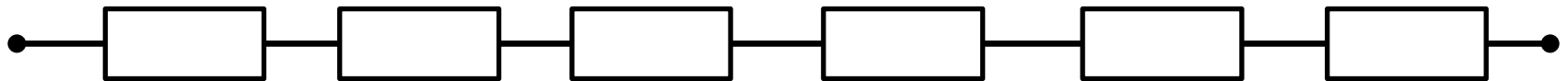
Tipos de conexión

- **Conexión serie:**

- Dos elementos de dos terminales están en serie si comparten 1 solo nodo común al que no hay conectado ningún otro elemento.
- Por tanto **la corriente que los atraviesa es la misma.**



- Se puede extender a n elementos



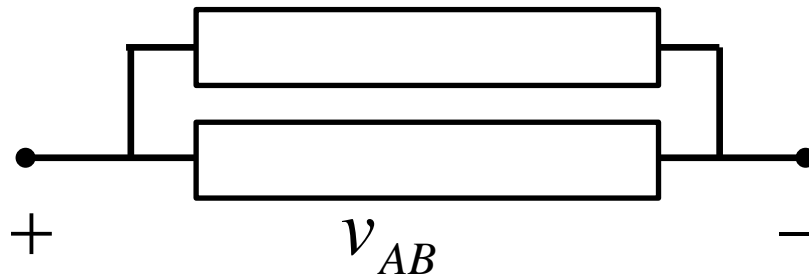
Ejemplos de conexión serie



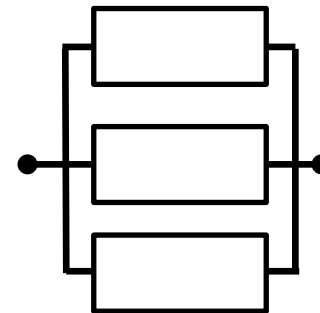
Tipos de conexión

- **Conexión paralelo:**

- Dos elementos de dos terminales están en paralelo si están conectados entre el mismo par de nodos al que no hay conectado ningún otro elemento.
- Por tanto, **la tensión entre sus terminales es la misma.**



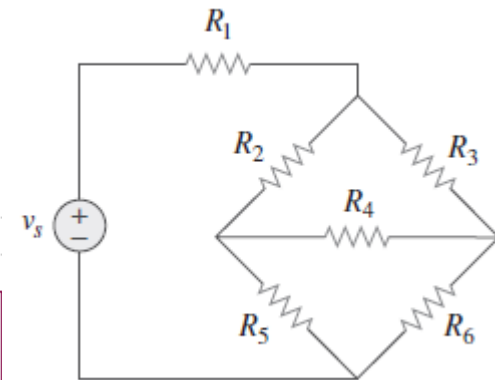
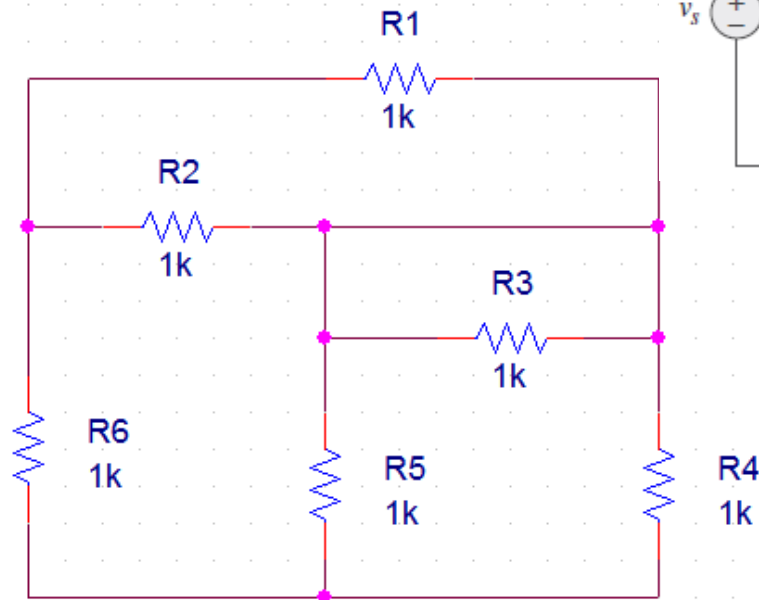
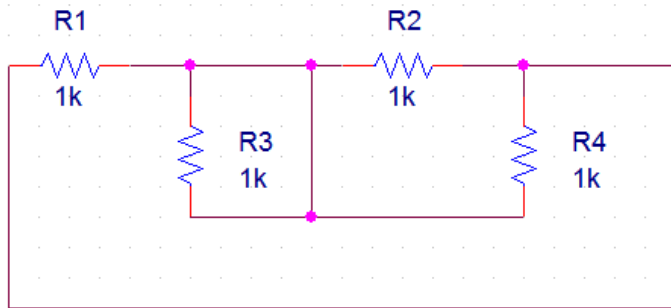
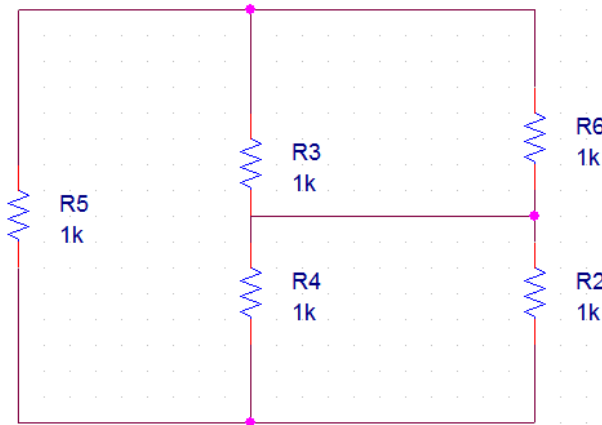
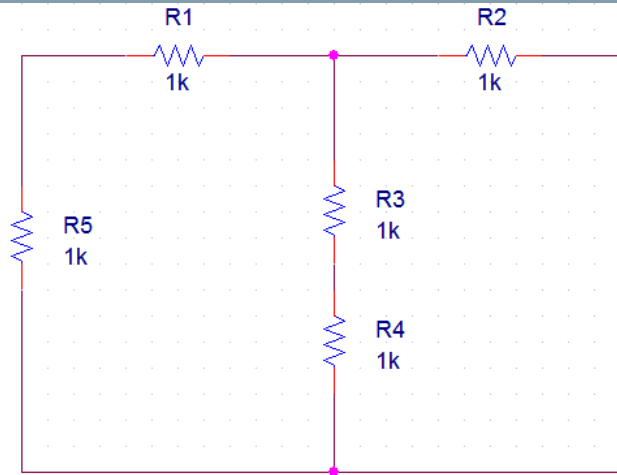
- Se puede extender a n elementos



Ejemplos de conexión paralelo

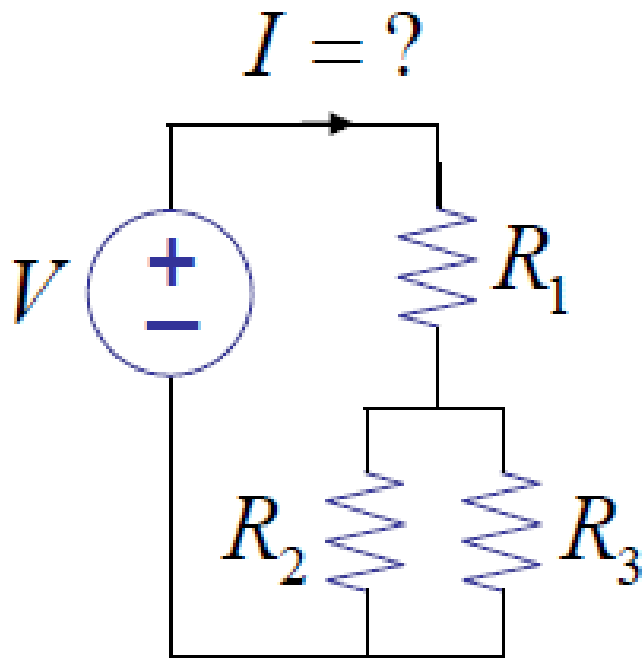


Tipos de conexión

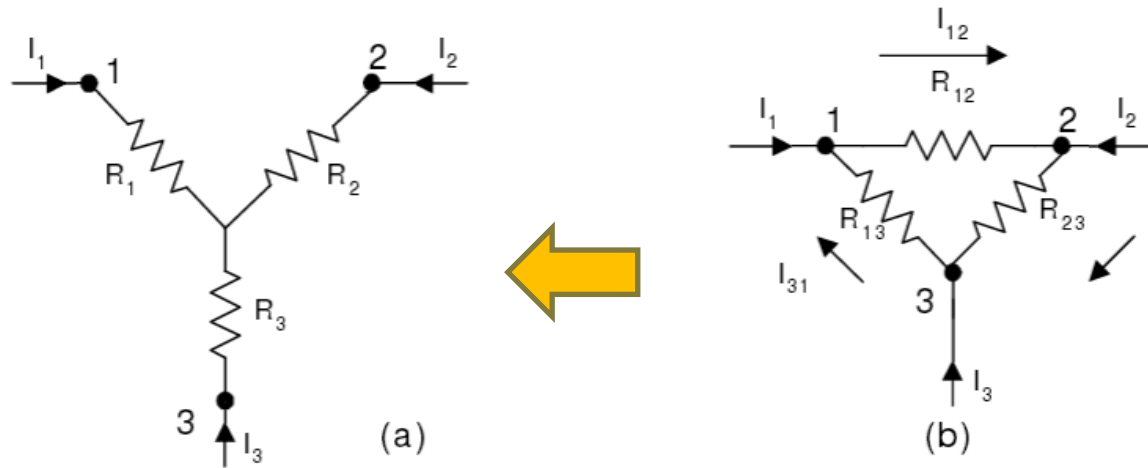


Circuitos equivalentes

- Dos circuitos son **equivalentes** si tienen las mismas características I-V para un par de terminales determinado
- Ejemplo



Transformación triángulo a estrella ($\Delta \rightarrow Y$)



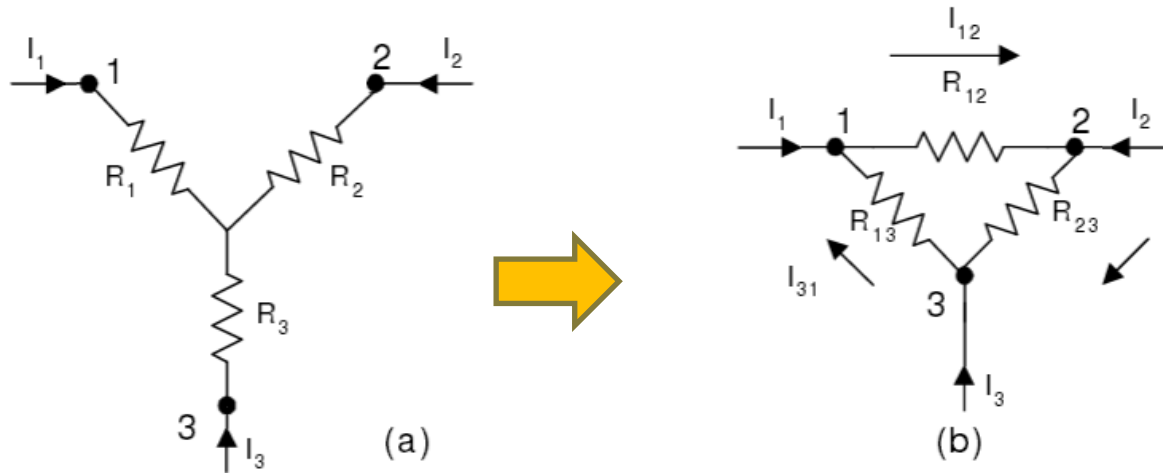
$$R_1 = \frac{R_{12} R_{13}}{(R_{13} + R_{12} + R_{23})}$$

$$R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{(R_{13} + R_{12} + R_{23})}$$

$$R_3 = \frac{R_{23} R_{13}}{(R_{13} + R_{12} + R_{23})}$$



Transformación estrella a triángulo (Y→Δ)



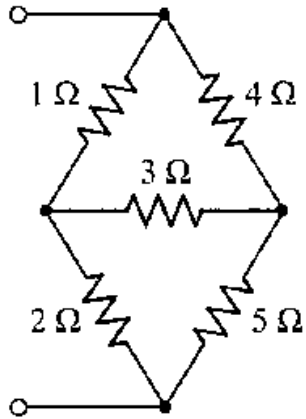
$$\frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2} = R_{13}$$

$$\frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} = R_{23}$$

$$\frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3} = R_{12}$$



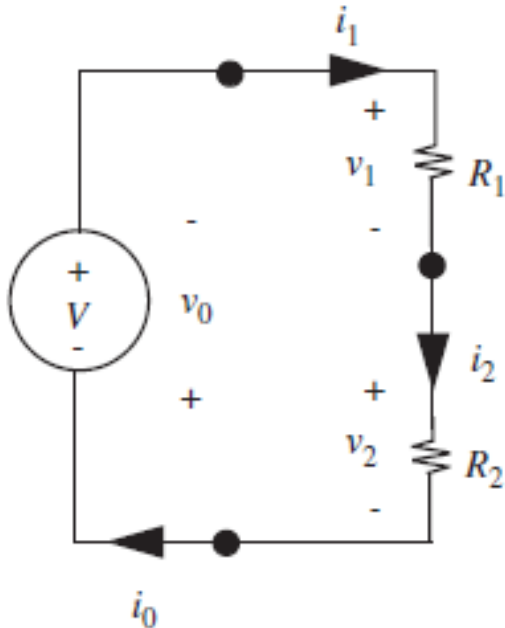
Ejemplo estrella-triángulo



Divisor de tensión

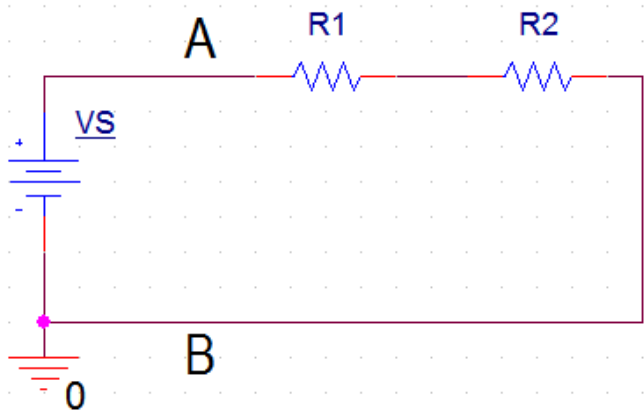
- Si por varias resistencias pasa la misma corriente, la tensión se reparte proporcionalmente a su valor

$$v_n = \frac{R_n}{R_{eq}} V \Rightarrow v_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V; \quad v_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$



Divisor de tensión

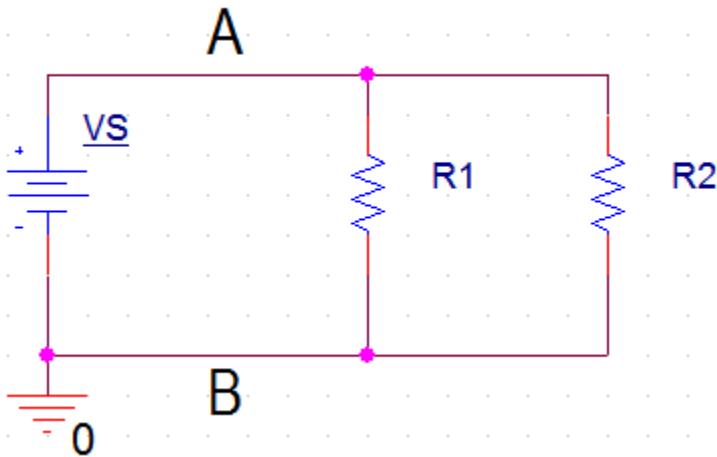
- Ej: Determinar R_2 para que su caída de tensión sea $\frac{1}{4}$ de la alimentación ($R_1 = 9\text{k}\Omega$). Calcular corriente cuando $V_S = 12\text{V}$.



El divisor de corriente

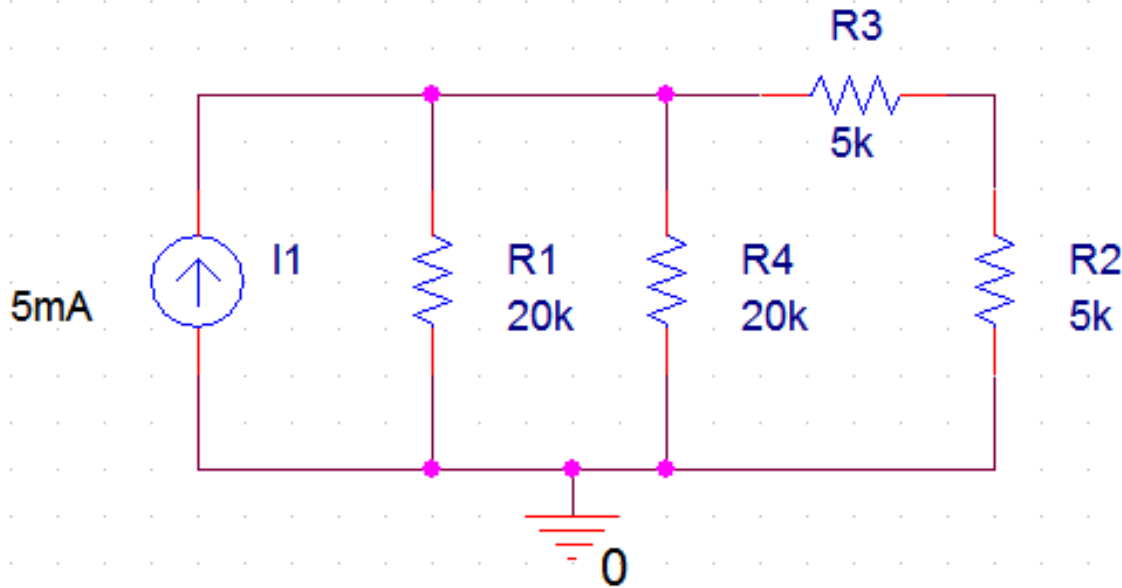
- Análogo con la corriente: **divisor de corriente**
 - En la conexión paralelo de *conductancias* la corriente se reparte de forma proporcional a la magnitud relativa de cada una de ellas

$$i_n = \frac{G_n}{G_{eq}} i_S \Rightarrow i_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} i_S; \quad i_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} i_S$$



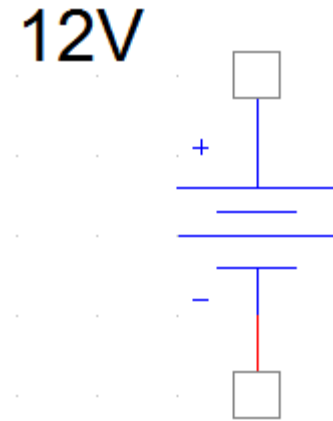
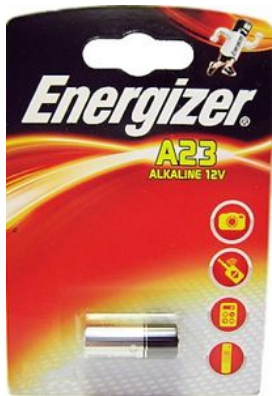
Ejemplo

- Obtener corrientes de R1 y R2



Fuentes reales

- **Fuente de tensión independiente real**
 - Fuentes de tensión reales de 12V

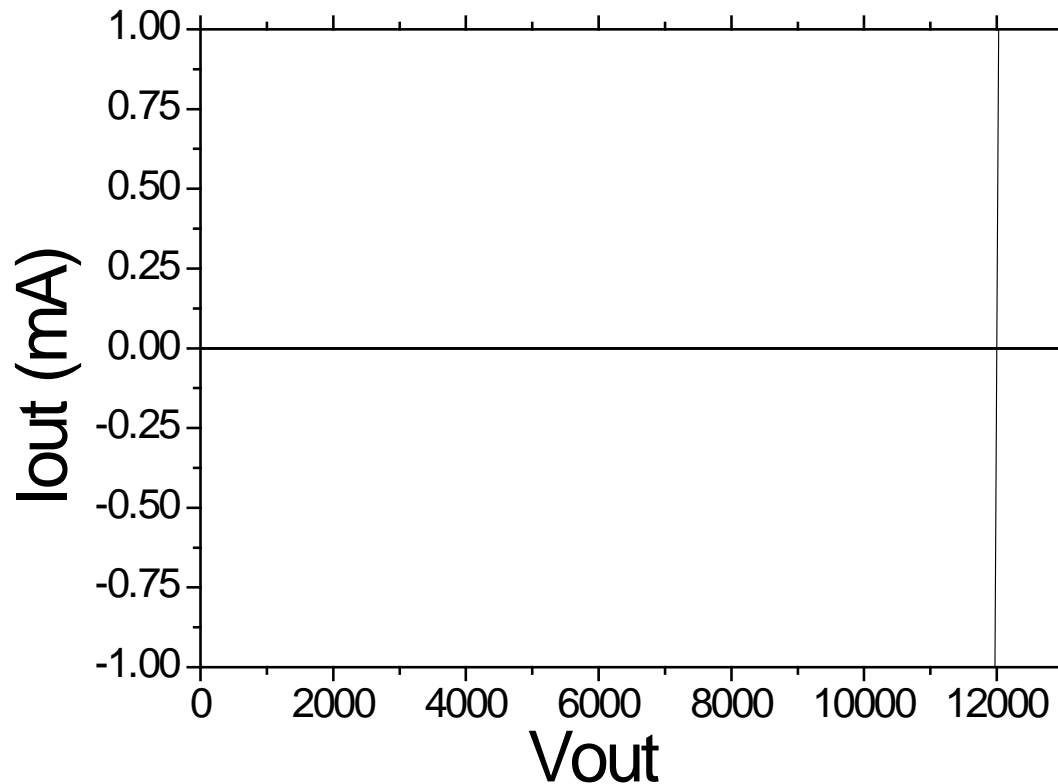


Fuentes reales

– Ej: $V_S = 12V$, $R_{int} = 0.050 \Omega$

$$V_{out} = V_S + R_{int} I_{out} = 12 + 0.050 i_{out}$$

$$I_{out} = \frac{V_{out} - V_S}{R_{int}}$$

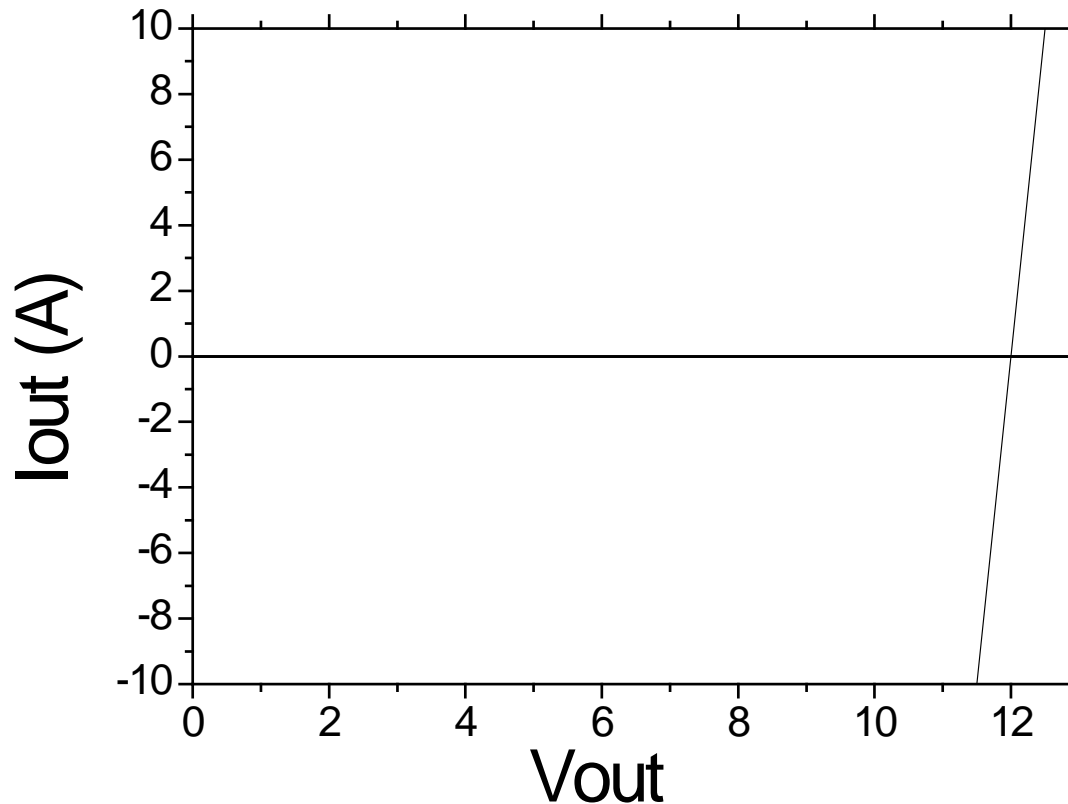


Fuentes reales

– Ej: $V_S = 12V$, $R_{int} = 0.050 \Omega$

$$V_{out} = V_S + R_{int} I_{out} = 12 + 0.050 i_{out}$$

$$I_{out} = \frac{V_{out} - V_S}{R_{int}}$$

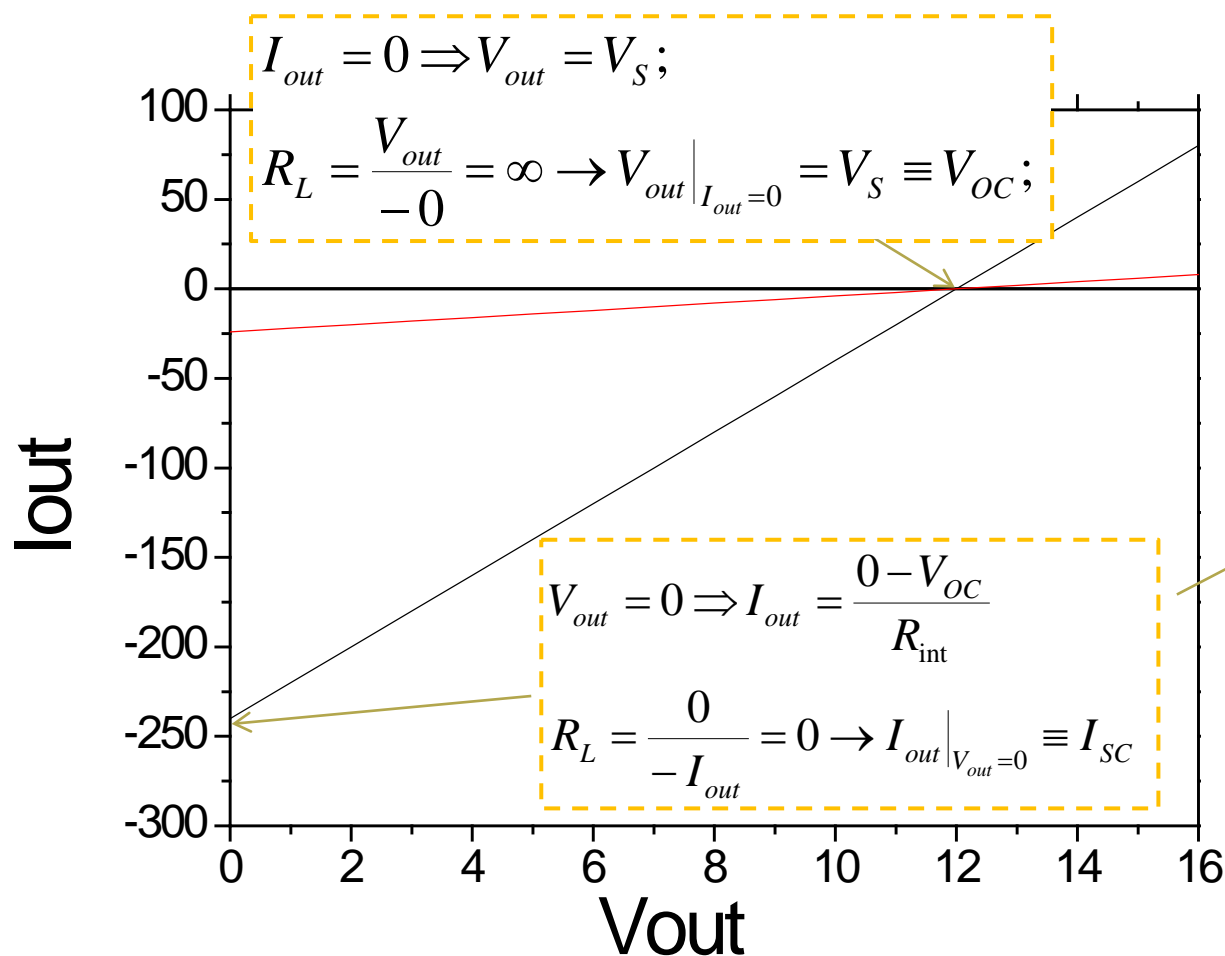


Fuentes reales

- Ej: $V_S = 12V$, $R_{int} = 0.050 \Omega / 0.5 \Omega$

$$V_{out} = V_S + R_{int} I_{out}$$

$$I_{out} = \frac{V_{out} - V_S}{R_{int}}$$



$$R_{int} = -\frac{V_{OC}}{I_{SC}}$$



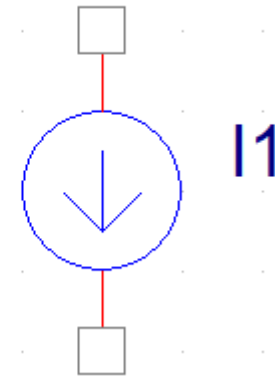
Fuentes reales

- Fuente de corriente independiente real



=

5A_{dc}



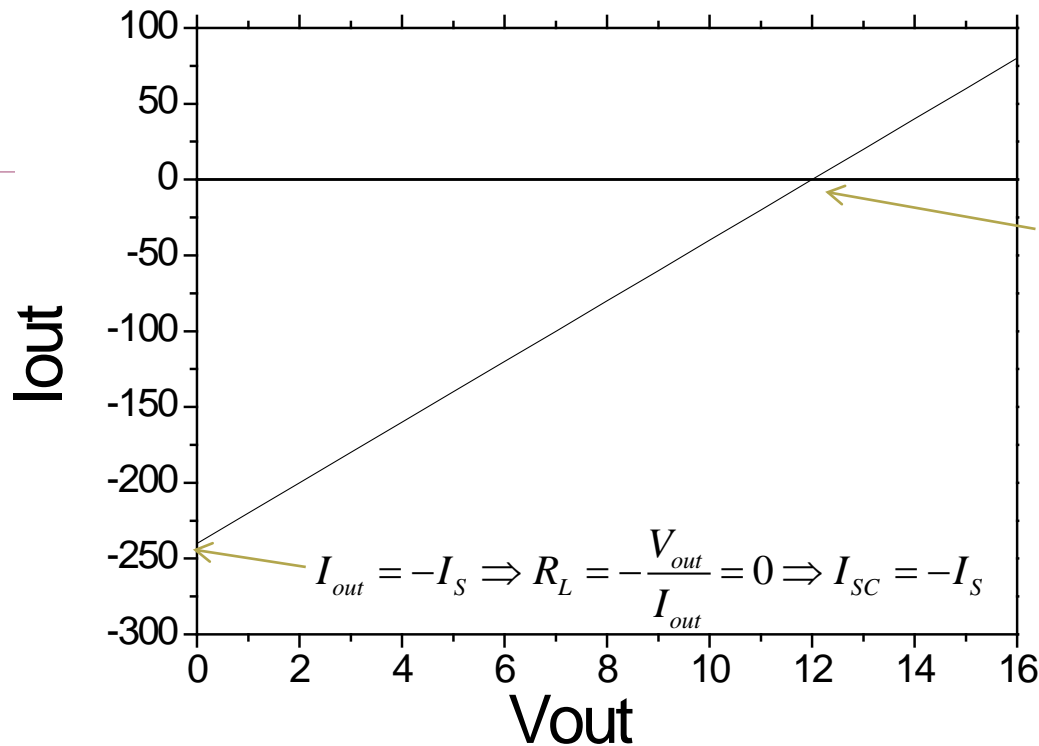
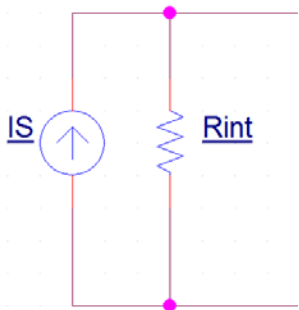
Fuentes reales

– Corriente de salida

- Ej: 240A, 0.050 ohm

$$V_{out} = (I_S + I_{out})R_{int} = I_S R_{int} + I_{out} R_{int}$$

$$I_{out} = \frac{V_{out} - I_S R_{int}}{R_{int}}$$



$$I_{out} = 0 \Rightarrow V_{out} = R_{int} I_S$$

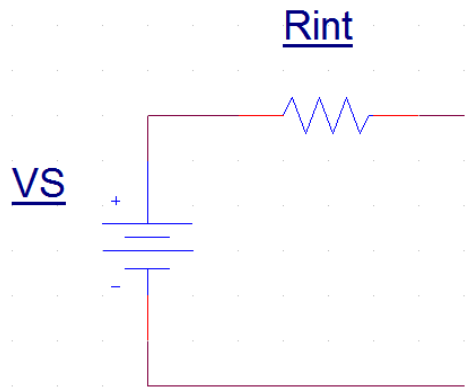
$$R_L = -\frac{V_{out}}{I_{out}} = \infty \Rightarrow V_{OC} = R_{int} I_S$$

$$\Rightarrow R_{int} = \frac{V_{OC}}{-I_{SC}}$$

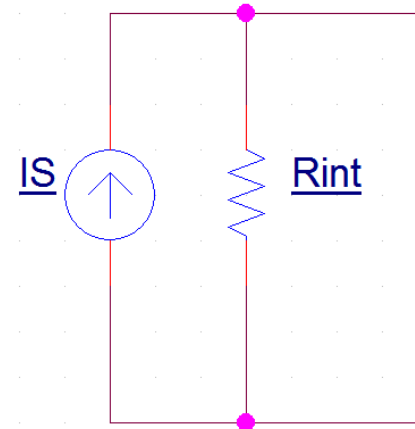
$$I_{out} = -I_S \Rightarrow R_L = -\frac{V_{out}}{I_{out}} = 0 \Rightarrow I_{SC} = -I_S$$

Fuentes reales

- Resumiendo: curvas I-V



$$I_{out} = \frac{V_{out} - V_S}{R_{int}}$$

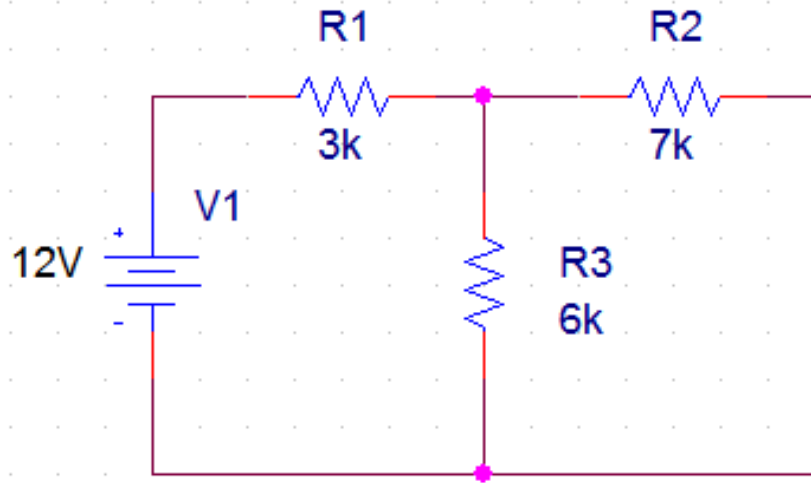


$$I_{out} = \frac{V_{out} - I_S R'_{int}}{R'_{int}}$$

– Equivalentes si...

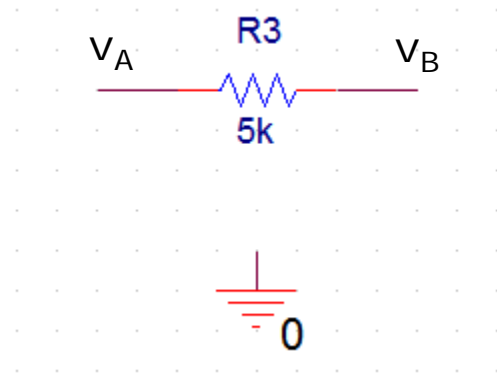


Simplificación de fuentes



Método de análisis por nodos

- **Tensión de nodo:** valor de la tensión en un nodo de un circuito referido a un nodo de referencia (nodo de **tierra**).
- Una vez conocidas las tensiones de nodo, es directo conocer las caídas de tensión en los elementos del circuito



$$V_{AB} = V_A - V_B$$

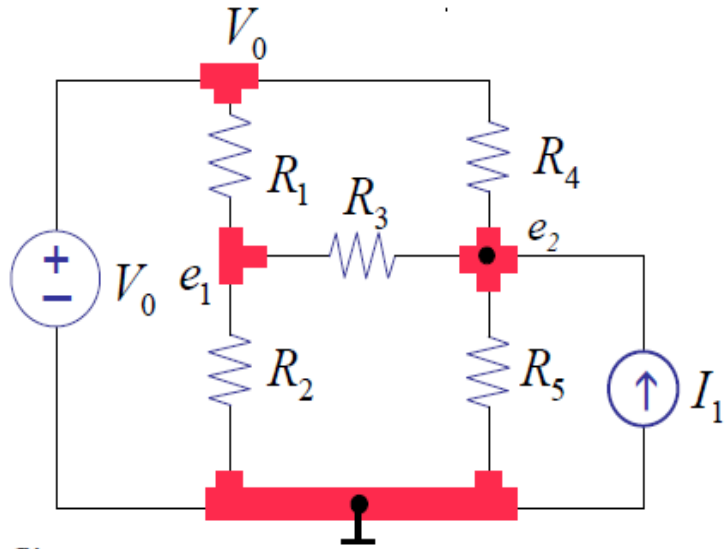


Método de análisis por nodos

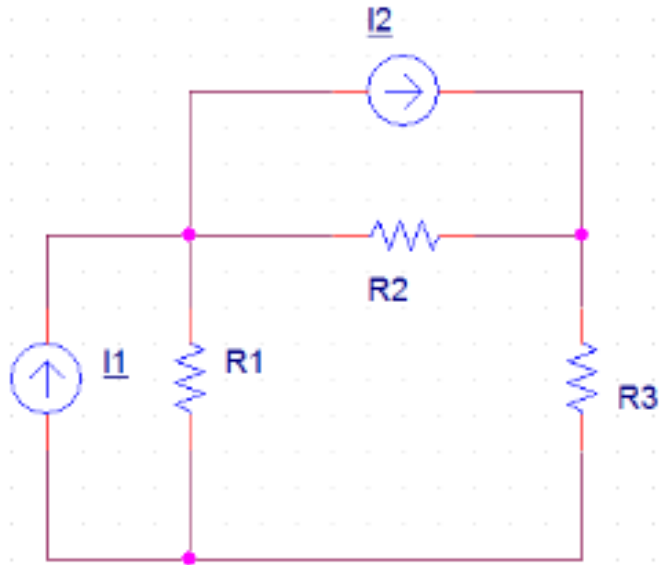
- Método que minimiza el número de ecuaciones
 - Menos nodos que elementos
 - Supone conocida la tensión de un nodo: referencia o tierra
- Procedimiento
 - Elegir un nodo de referencia
 - Poner nombre a las tensiones de los $N-1$ nodos restantes
 - Aplicar la KCL a los $N-1$ nodos (todos menos el de referencia)
 - Utilizar la I-V de cada elemento para escribir las corrientes de rama en función de las tensiones de nodo.
 - Calcular las $N-1$ tensiones de nodo resolviendo las $N-1$ ecuaciones obtenidas.
 - Obtener las corrientes mediante las relaciones I-V.



Método de análisis por nodos



Método de análisis por nodos

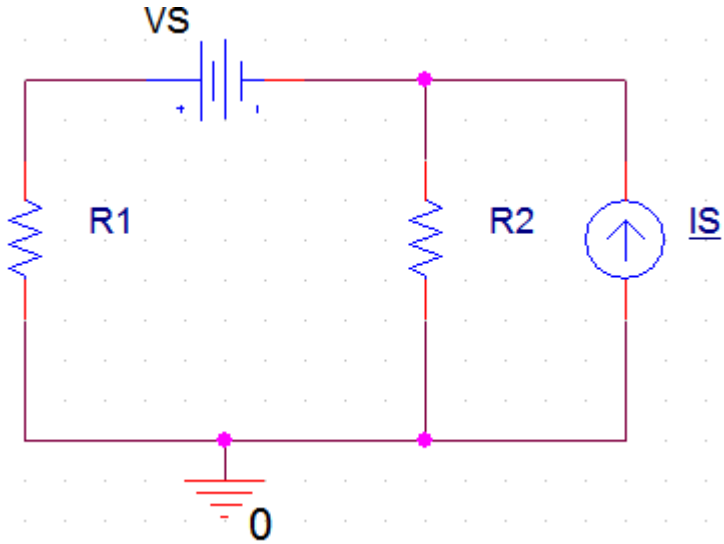


Método de análisis por nodos

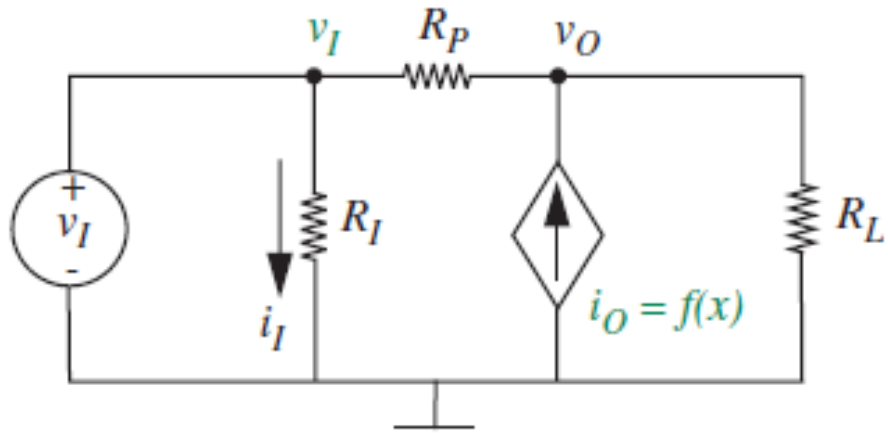
- Si hay fuentes de tensión
 - Caso 1) la fuente está entre el nodo de referencia y otro nodo cualquiera
 - Se fija la tensión de ese nodo a la tensión de la fuente (deja de ser una incógnita)
 - Caso 2) la fuente está entre dos nodos, ninguno de referencia
 - Se plantea la KCL pero en el supernodo que la incluye.



Método de análisis por nodos



Fuentes dependientes

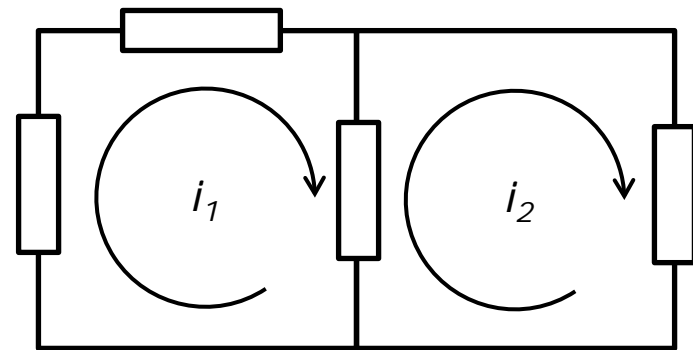
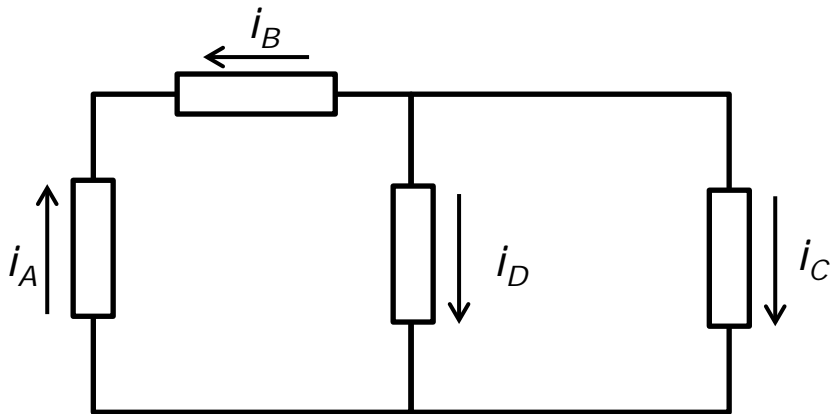


$$\begin{cases} a) f(x) = -G_m v_I \\ b) f(x) = -\beta i_I \end{cases}$$



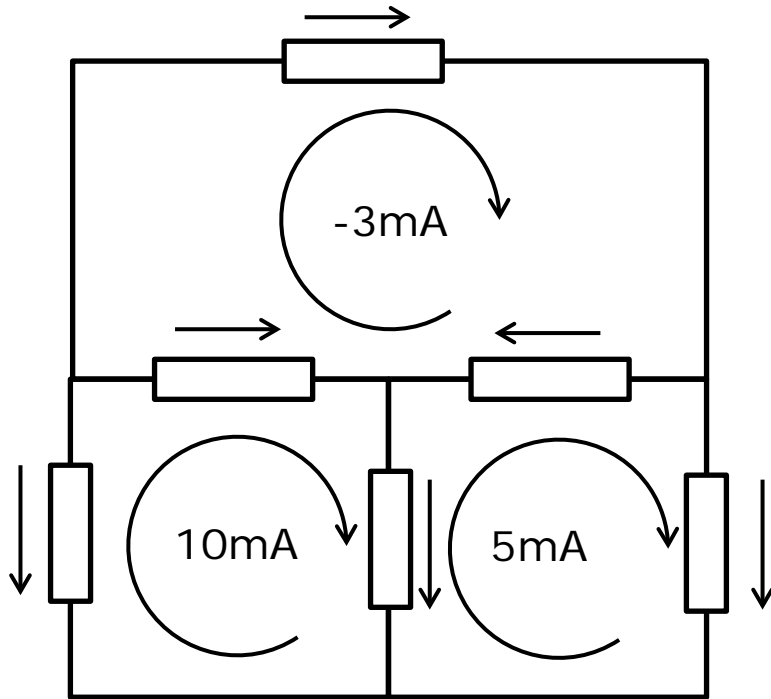
Método de análisis por mallas

- Recordatorio:
 - Lazo: camino cerrado, que empieza y termina en el mismo nodo sin pasar más de una vez por los nodos intermedios
 - Malla: es un lazo que no encierra a otro en su interior
- Corriente de malla
 - Hasta ahora hemos trabajado con corrientes de rama (corrientes que fluyen entre dos nodos)
 - Las corrientes de malla son *corrientes ficticias* que recorren cada malla (el sentido de giro es arbitrario, habitualmente horario)



Método de análisis por mallas

- Ejemplo: calcular corrientes por cada elemento



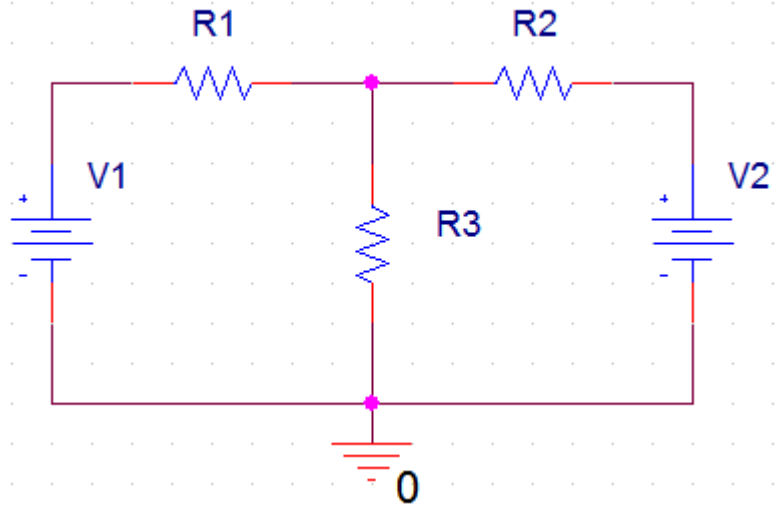
Método de análisis por mallas

- Las variables del circuito son las corrientes de malla (en lugar de corrientes de rama)
- Procedimiento: circuito N mallas sin fuentes de corriente:
 - Asignar nombre y sentido a las corrientes de malla ($i_1, i_2, i_3, \dots, i_N$)
 - Aplicar KVL a cada una de las mallas.
 - Utilizar la relación I-V de cada elemento para escribir las tensiones de cada elemento en función de las corrientes de malla
 - Calcular las N corrientes de malla resolviendo las N ecuaciones obtenidas.
 - Calcular las corrientes de cada elemento a partir de las corrientes de malla.
 - Calcular las tensiones de cada elemento a partir de las relaciones I-V.



Método de análisis por mallas

- Ejemplo



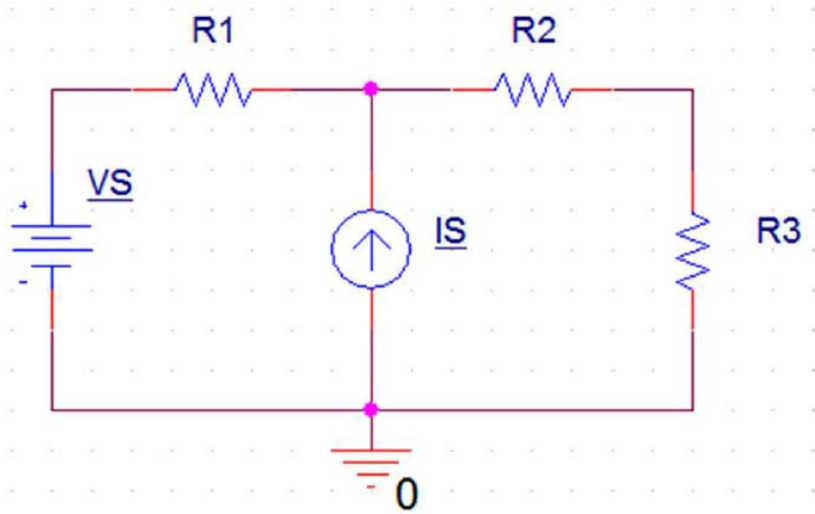
Método de análisis por mallas

- **Análisis por mallas con fuentes de corriente**
 - Caso 1: Si la fuente de corriente está en una rama que pertenece a una única malla, se fija la corriente de dicha malla a la corriente de la fuente.
 - La corriente de dicha malla deja de ser una incógnita.
 - Caso 2: Si la fuente de corriente está en una rama que pertenece a dos mallas
 - Se plantea la KVL en una “supermalla” (el lazo que engloba las dos mallas en cuestión, pero que no pasa por la fuente de corriente).
 - Se añade una ecuación que relaciona la corriente de la fuente con las corrientes de las dos mallas.



Método de análisis por mallas

- Ejemplo caso 2



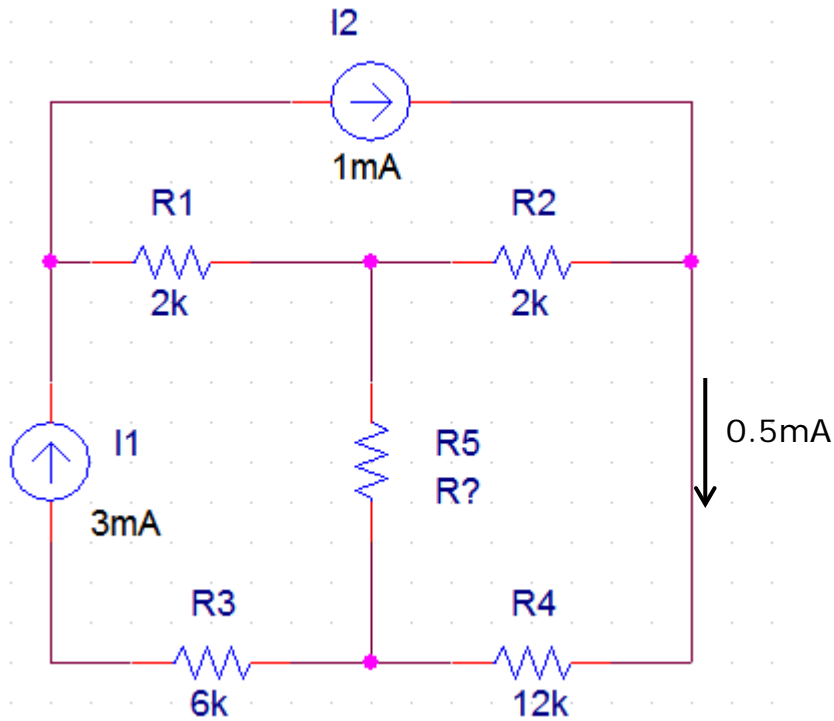
¿Método de resolución?

1. Simplificar
 2. Simplificar
 3. Si no hay otra, nodos o mallas
 1. Generalmente nodos
- Parámetros que ayudan a decidir:
 - Naturaleza del circuito
 - Menos nodos que mallas \Rightarrow análisis por nodos
 - Menos mallas que nodos \Rightarrow análisis por mallas
 - Información requerida
 - Si se buscan tensiones \Rightarrow análisis por nodos
 - Si se buscan las corrientes \Rightarrow análisis por mallas
 - **NUNCA fuerza bruta**



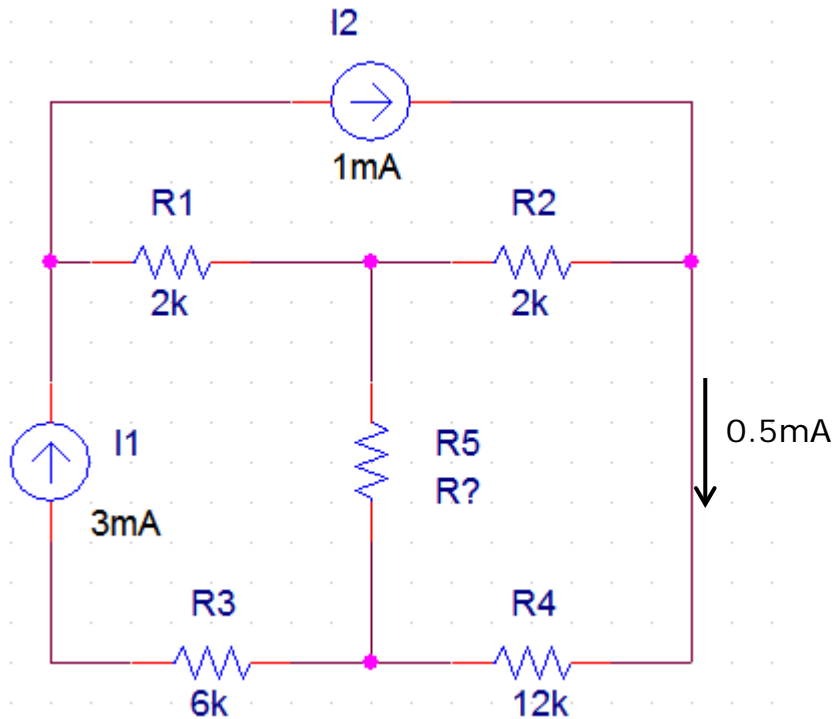
¿Resolver por Nodos o mallas?

- Calcular R (resolver por nodos y por mallas)



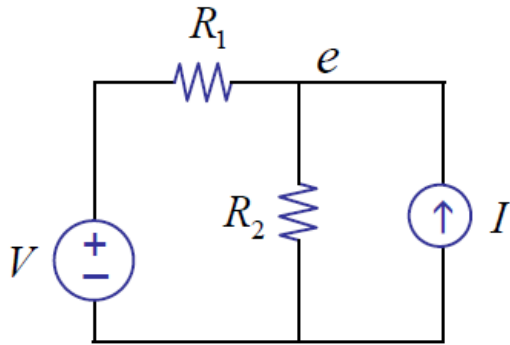
¿Resolver por Nodos o mallas?

- Calcular R (resolver por nodos y por mallas)



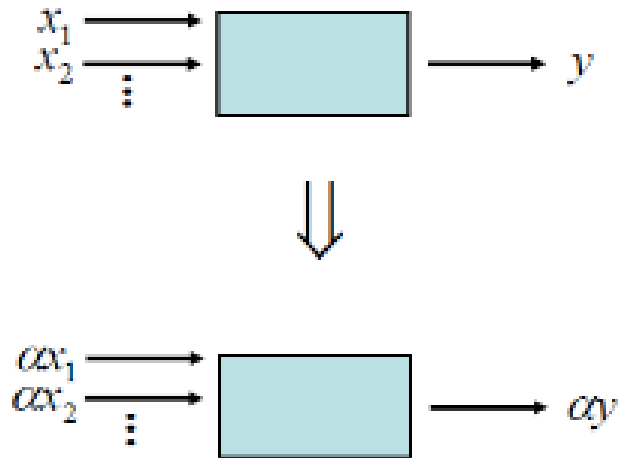
Linealidad y superposición

- Método muy potente para simplificar en AC basado en la **linealidad**

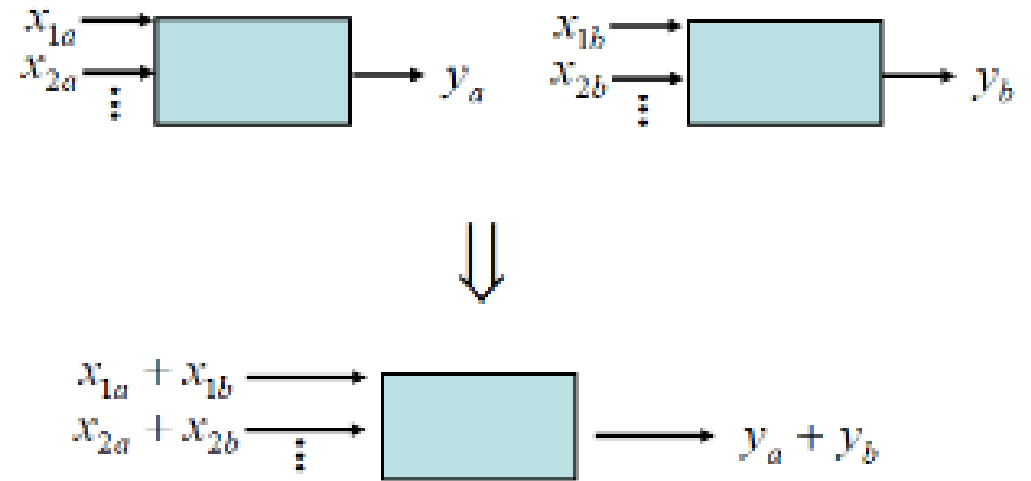


Linealidad y superposición

- Homogeneidad

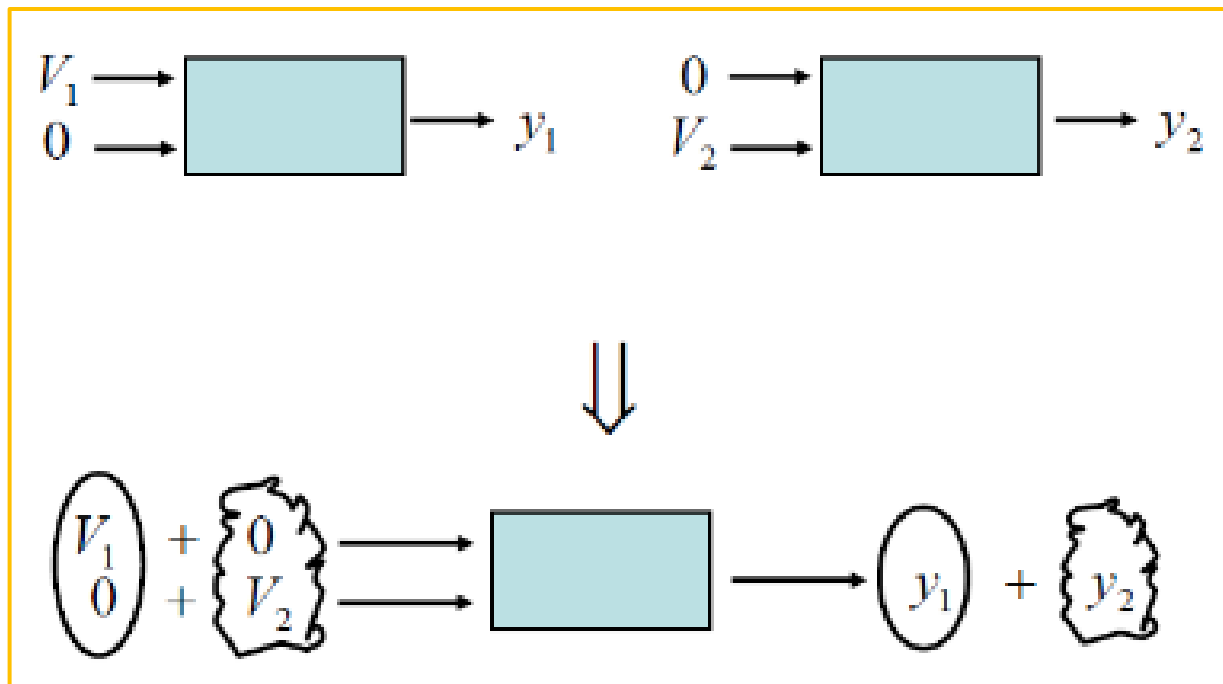


- Superposición

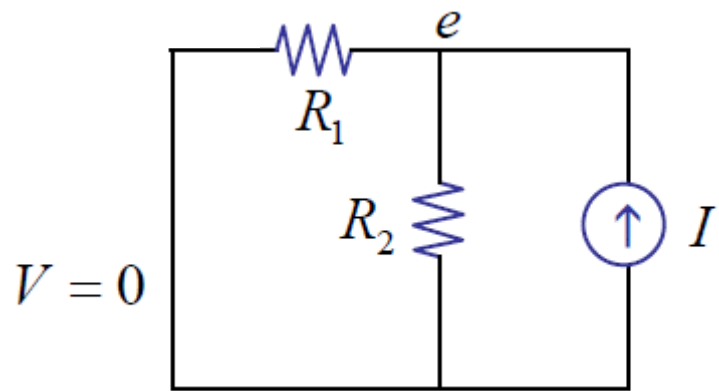
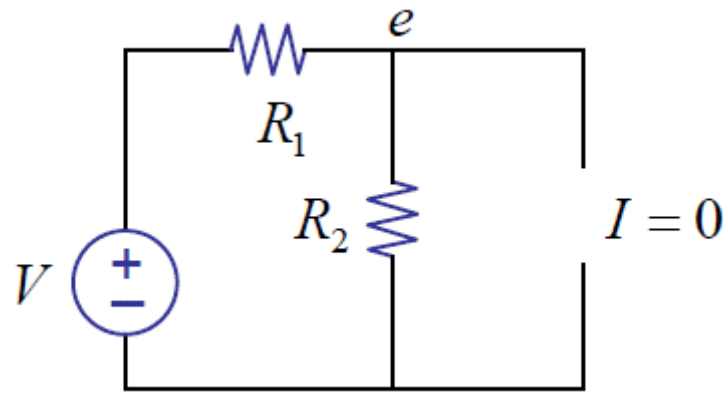


Linealidad y superposición

- Circuito lineal alimentado por dos generadores de tensión de valor V_1 y V_2

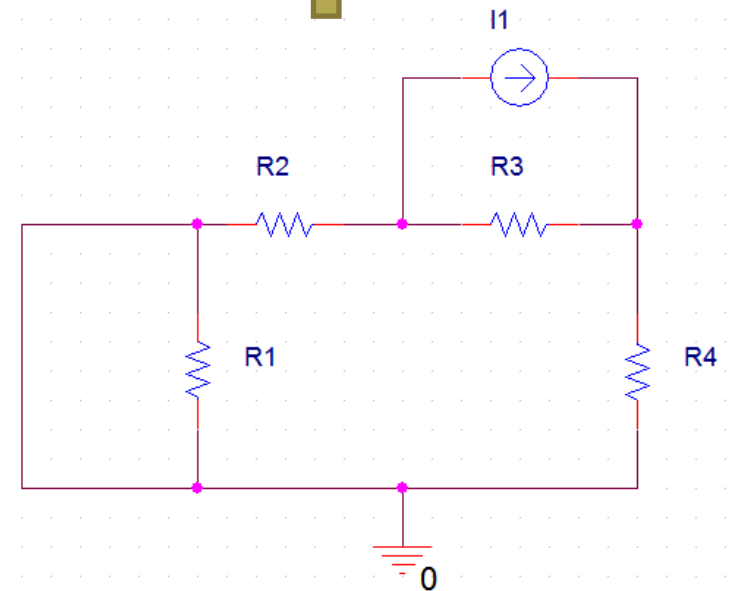
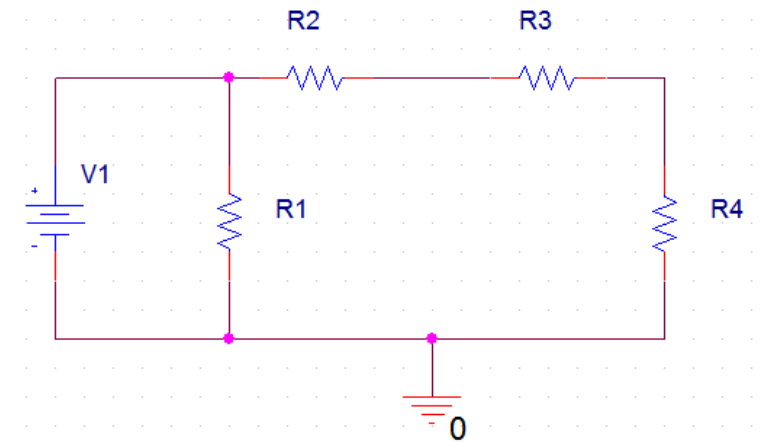
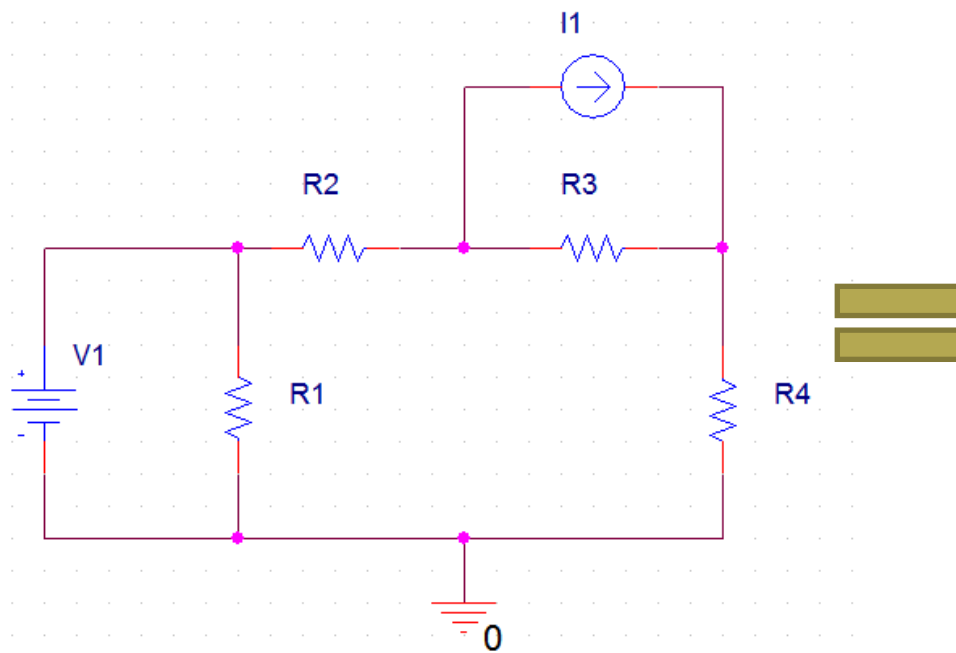


Linealidad y superposición



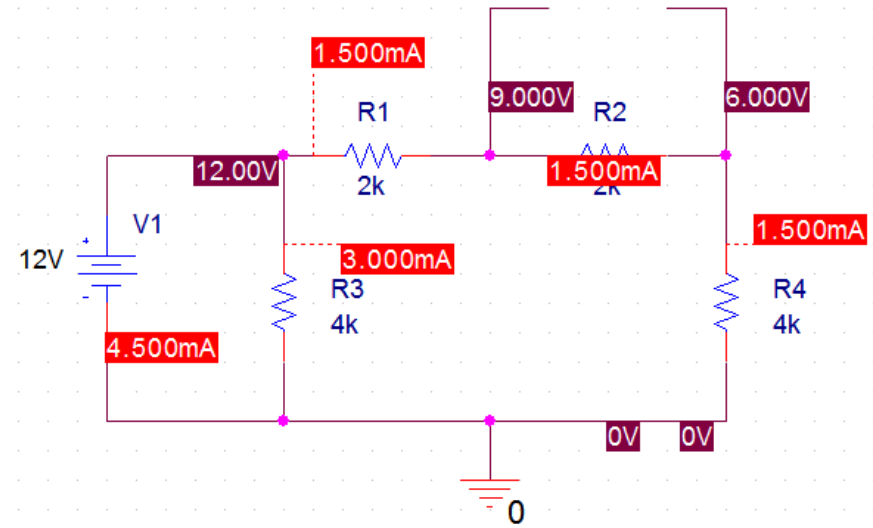
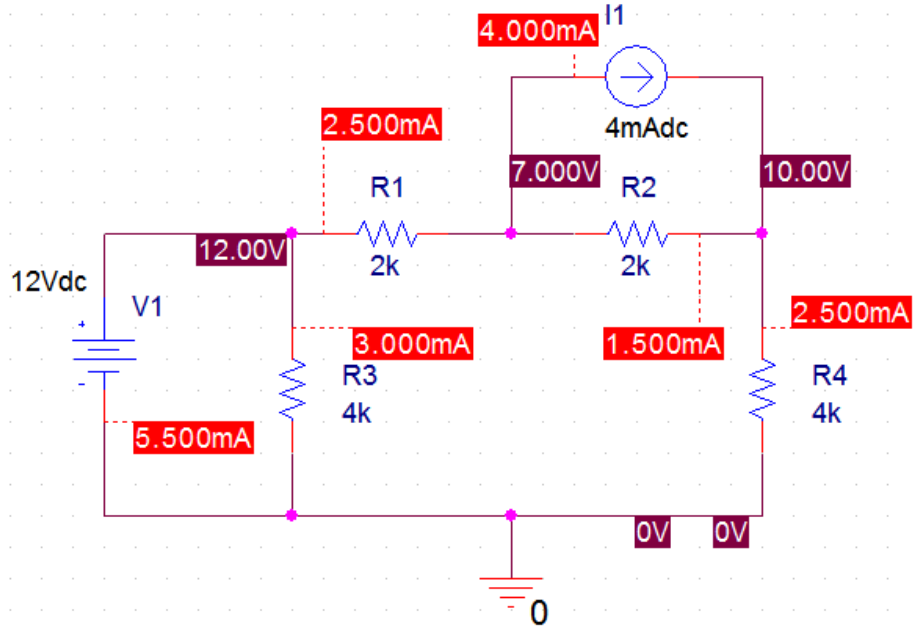
Principio de superposición

- Otro ejemplo



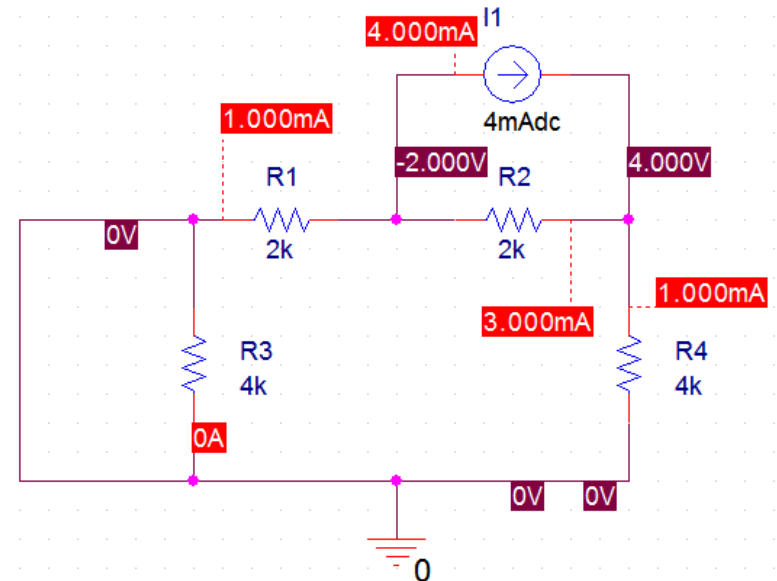
Principio de superpos

- ¿Seguro?

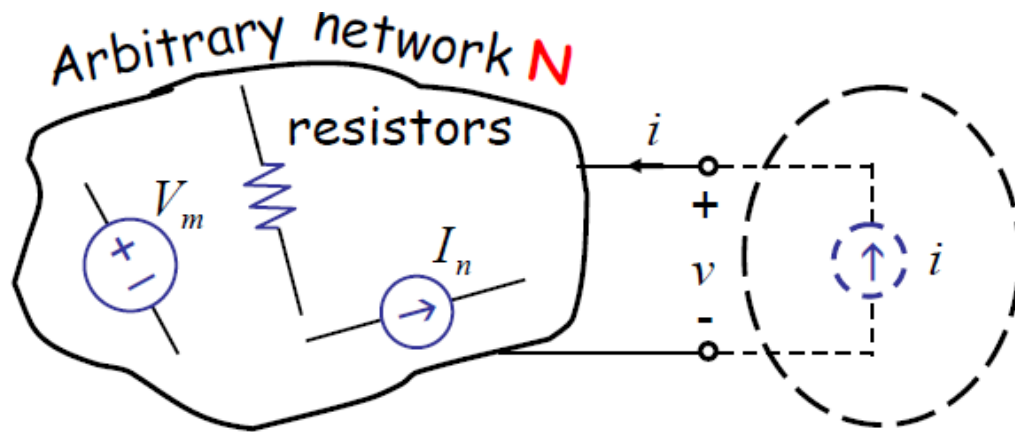


=

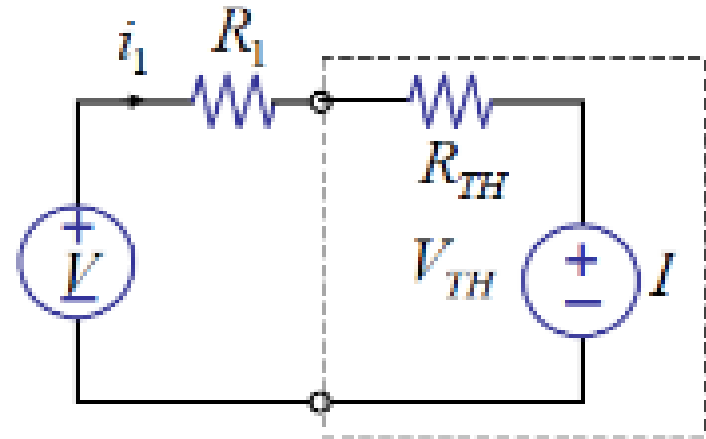
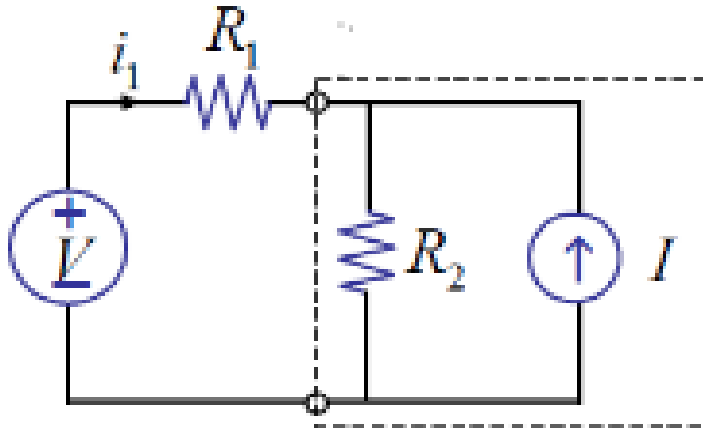
+



Equivalente Thévenin

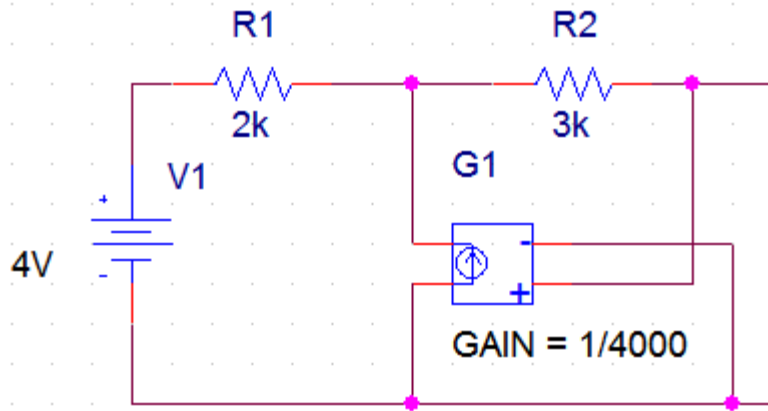


Equivalente Thévenin



Equivalente Thévenin

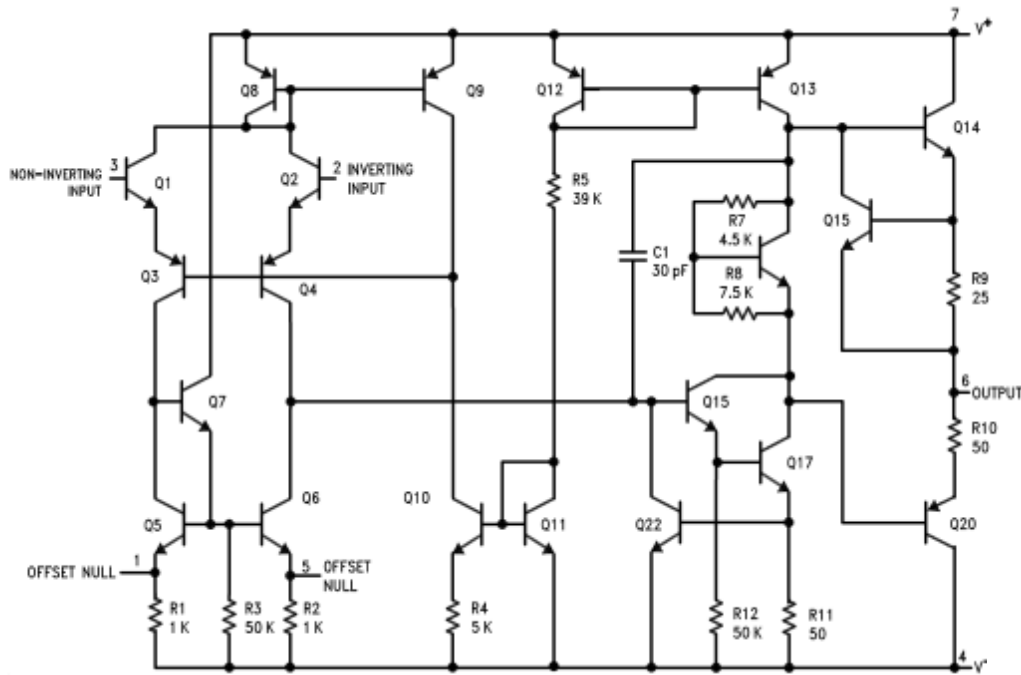
- Ej: Encontrar equivalente Thévenin



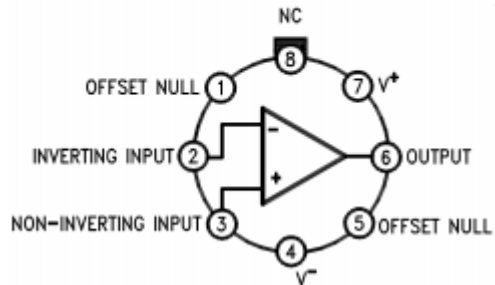
Equivalente Norton



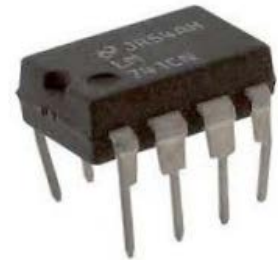
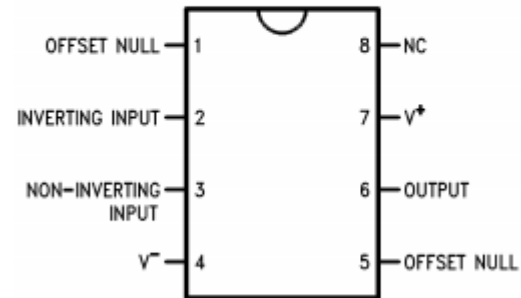
El amplificador operacional



**LMC Package
8-Pin TO-99
Top View**



**NAB Package
8-Pin CDIP or PDIP
Top View**



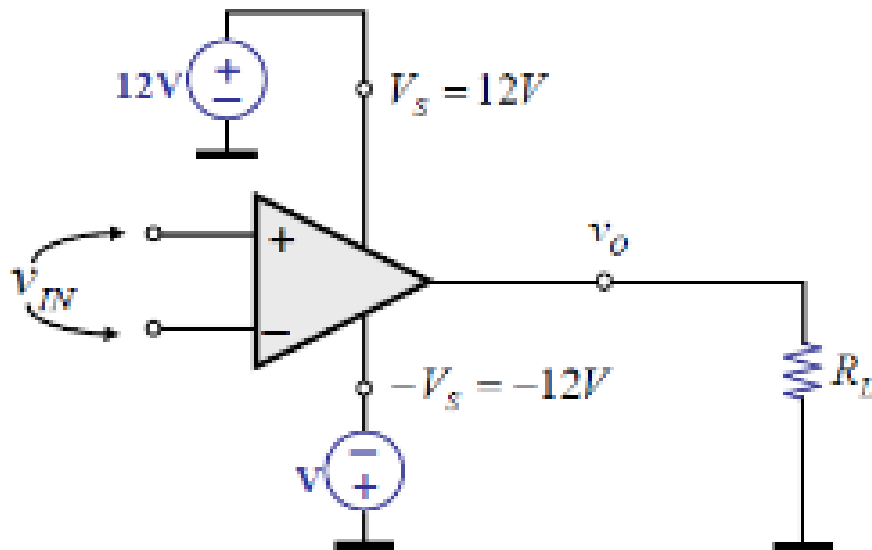
Amplificador operacional

- Abstracción del AO



Amplificador operacional

- Salida frente a entrada

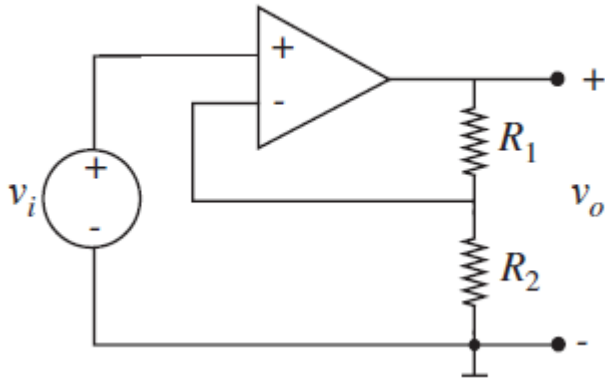


https://youtu.be/V0z_f7qxLcY?t=1651 (a partir de 27:29)



Amplificador operacional

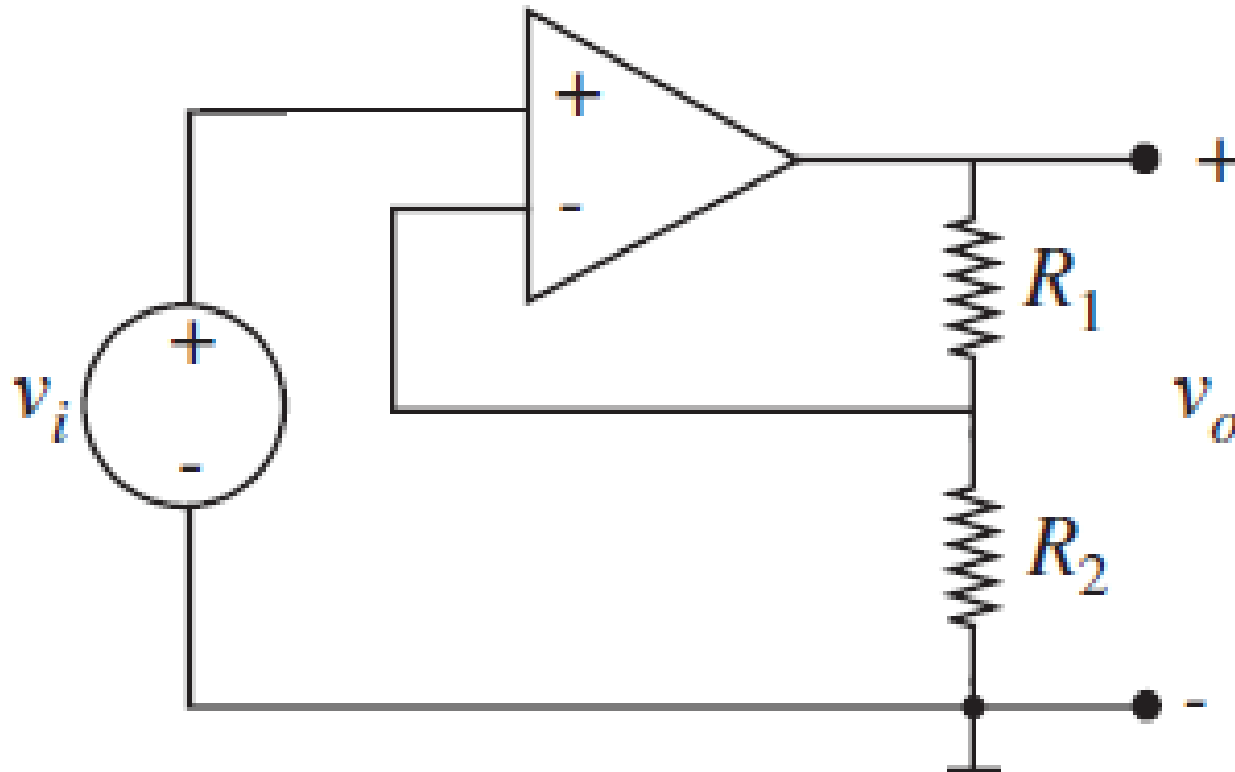
- Ejemplo: amplificador no inversor



Amplificador operacional

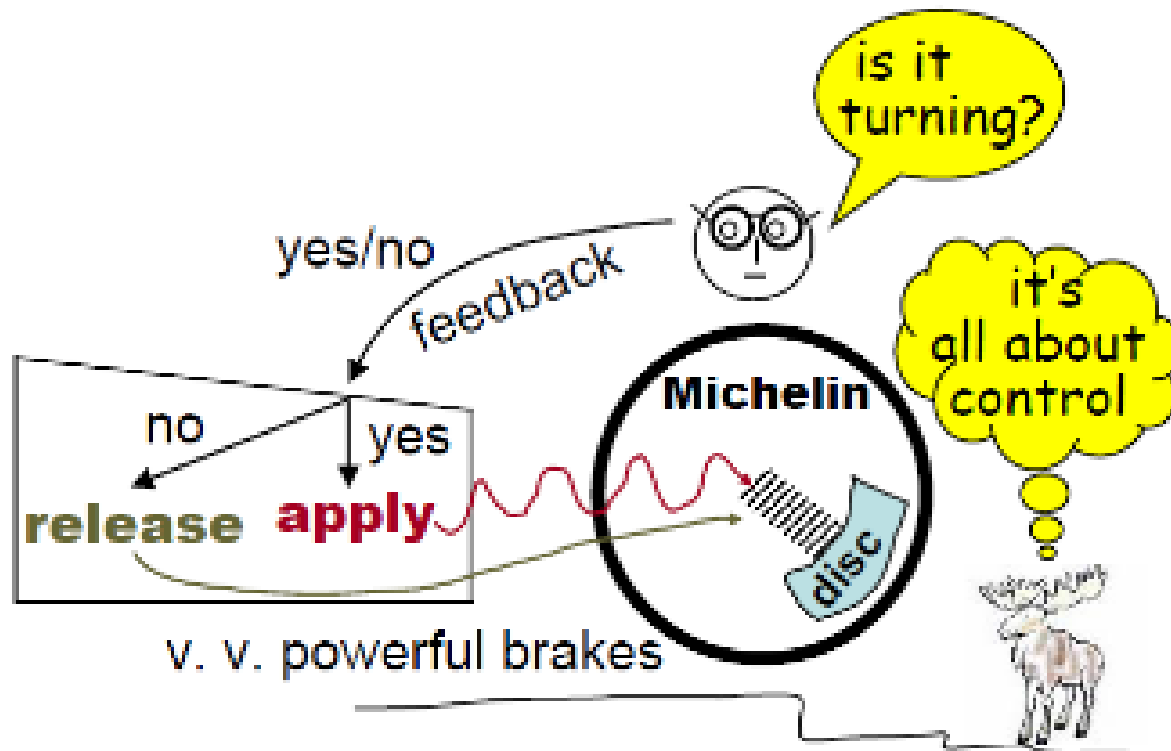
https://youtu.be/V0z_f7qxLcY?t=2501 (a partir de 41:40)

- ¿Por qué ahora es estable?



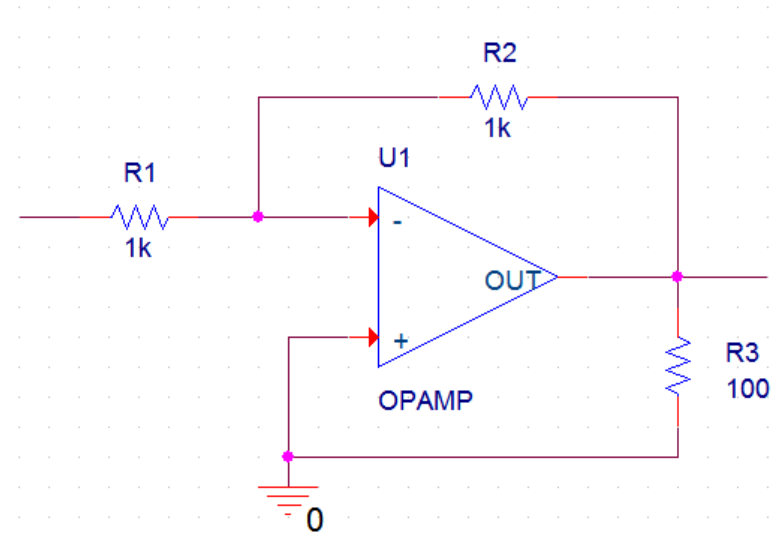
Amplificador operacional

- Realimentación negativa (*negative feedback*)



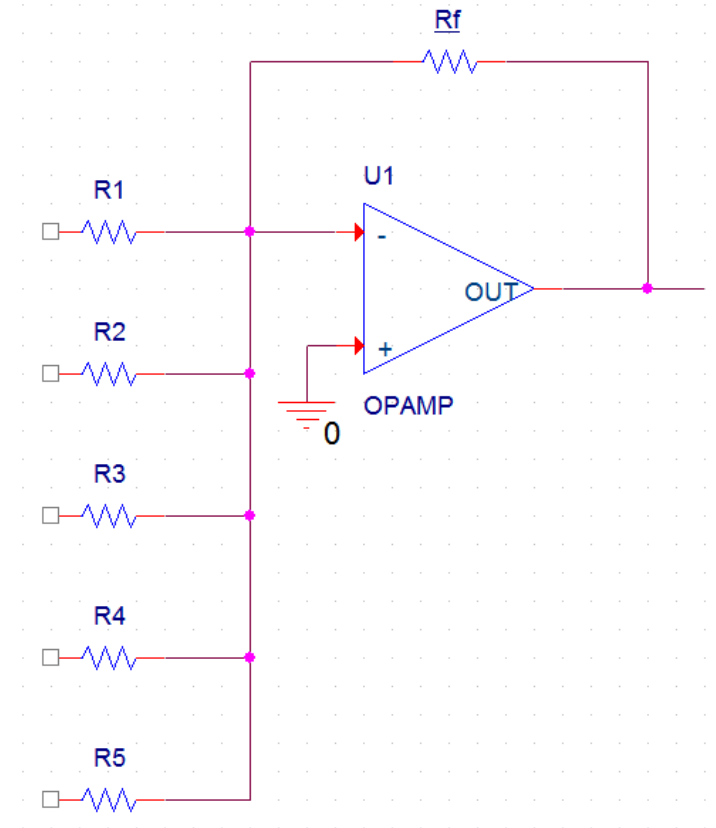
Amplificador operacional

- Simplificación del análisis con AO
 - Con condiciones



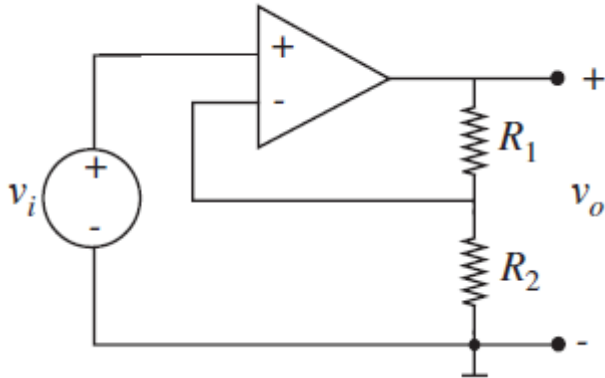
Amplificador operacional

- Sumador con AO



Amplificador operacional

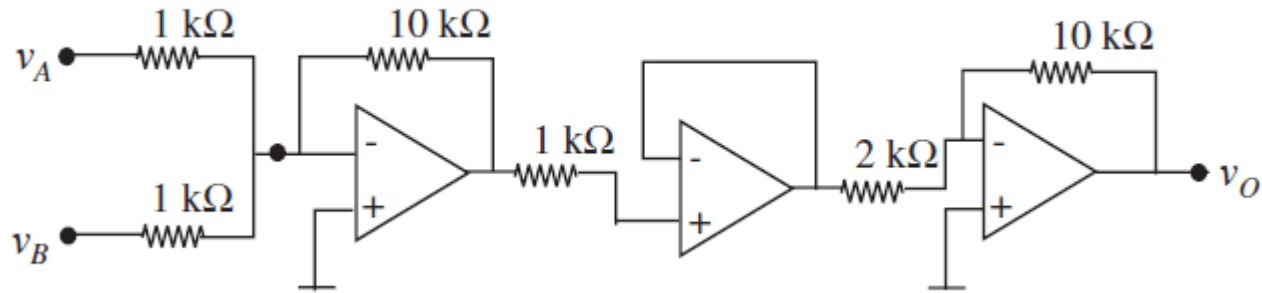
- Seguidor de tensión



$$\frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} =$$

Amplificador operacional

- Conexión en cascada



Objetivos del tema

- Elementos básicos de un circuito DC
 - Resistencias
 - Fuentes ó generadores
- Leyes de Kirchhoff
- Métodos de análisis de circuitos DC
 - Simplificación de circuitos
 - Método de los Nodos
 - Métodos de las Mallas
 - Superposición
 - Equivalente Thévenin-Norton
- Amplificadores Operacionales ideales
 - Circuitos simples con AO en DC
- Simulación de circuitos: *Cadence Orcad*

Programa de la asignatura

1. Elementos de un circuito y métodos de análisis en corriente continua: Resistencias, fuentes de voltaje y de corriente, fuentes dependientes. Leyes de Kirchhoff. Técnicas de análisis: combinación de elementos, análisis por nodos, análisis por mallas, principio de superposición, teoremas de Thévenin y Norton. El amplificador operacional ideal. Circuitos simples con amplificadores operacionales. Análisis de circuitos asistido por ordenador.

