

# Electrotecnia

Prof. Ing. G. Belliski

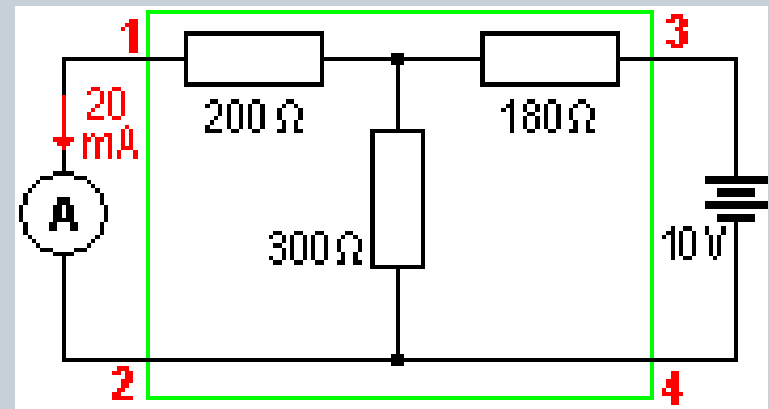
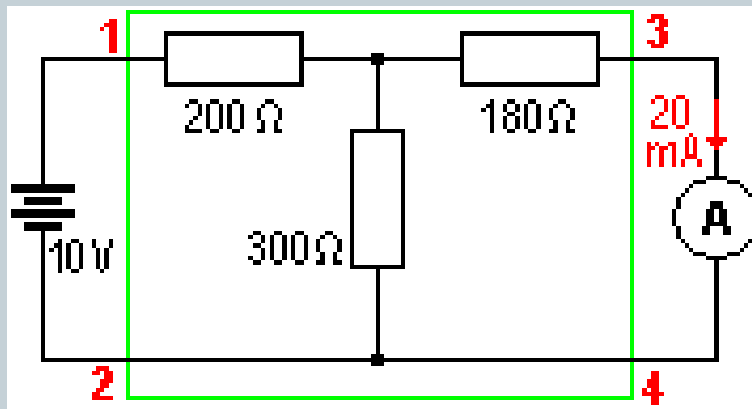
- **TEOREMA DE RECIPROCIDAD**
- **TEOREMA DE THEVENIN**
- **TEOREMA DE NORTON**



# El teorema de Reciprocidad



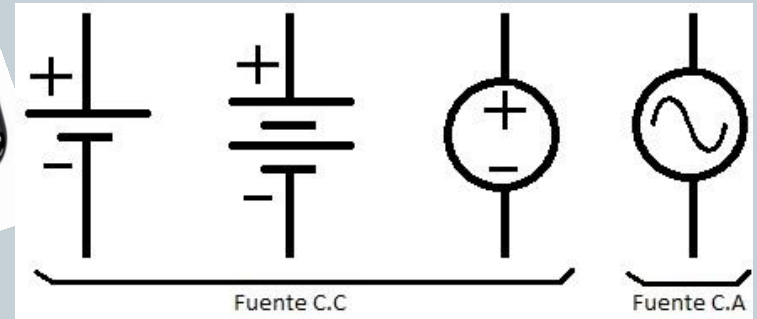
En cualquier red bilateral real pasiva, si la fuente de tensión simple  $V_x$  en la rama  $x$  produce la respuesta en corriente  $I_y$  en la rama  $y$ , entonces la eliminación de la fuente de tensión en la rama  $x$  y su inserción en la rama  $y$  produciría la respuesta en corriente  $I_y$



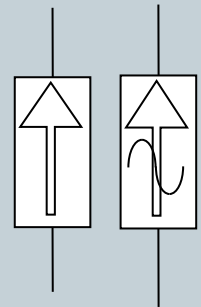
# Fuentes de corriente



Las fuentes que hasta ahora hemos visto son aquellas que mantienen una tensión constante en sus bornes, las primeras conocidas por los físicos desde Volta. Son habituales en nuestra vida diaria:



Sin embargo, el avance de la tecnología nos ha obligado a considerar otro tipo de fuentes, aquellas que mantienen constante un valor de corriente *circulando* entre sus bornes:



El transistor es una fuente de corriente

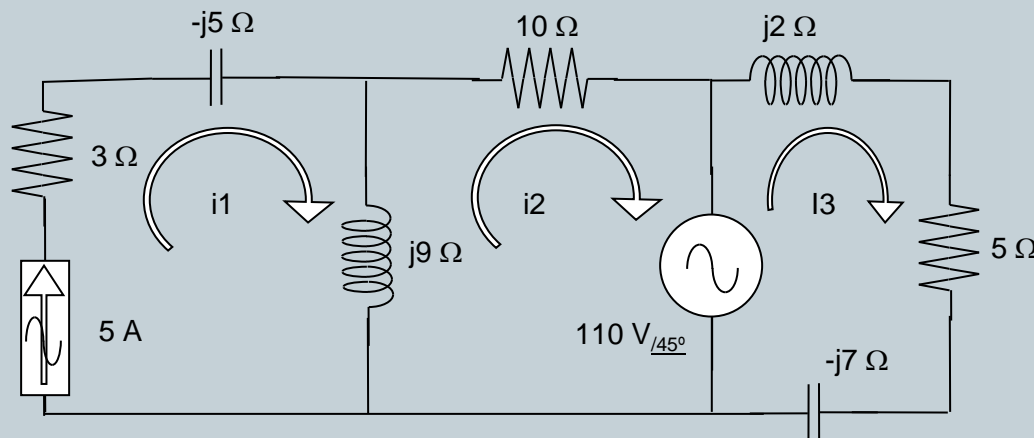
# Las fuentes de corriente en el circuito



Una *fente de tensión* mantiene la tensión constante en la rama en la cual está inserta. Su corriente *se adapta* al circuito externo

Una *fente de corriente* mantiene la corriente constante en la rama en la cual está inserta. Su tensión *se adapta* al circuito externo

En caso de estar usando el teorema de mallas, generalmente nos facilita una ecuación. Por ejemplo, en el circuito de abajo, podemos escribir  $i_1 = 5 \text{ A}$

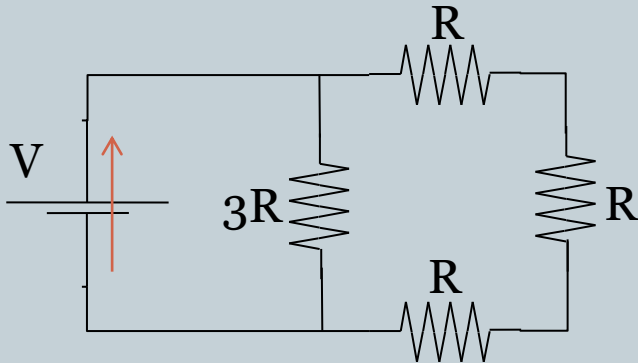


Sería un **error**, sin embargo, escribir la ecuación de mallas como:

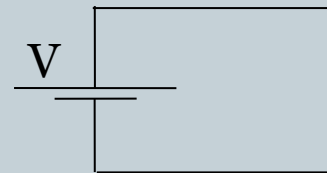
$$i_1 \cdot 3\Omega + (-j5\Omega) + (i_1 - i_2) \cdot (j9\Omega) = 0$$

# FUENTES: DETALLES A TENER EN CUENTA

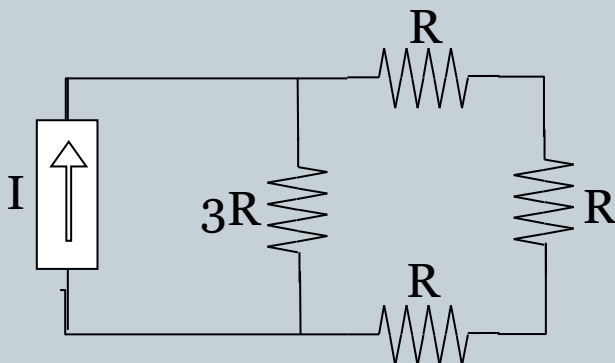
a) ¿qué corriente pasa por la fuente?



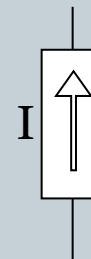
No se puede ... ¿por qué?



b) ¿qué tensión cae en la fuente?

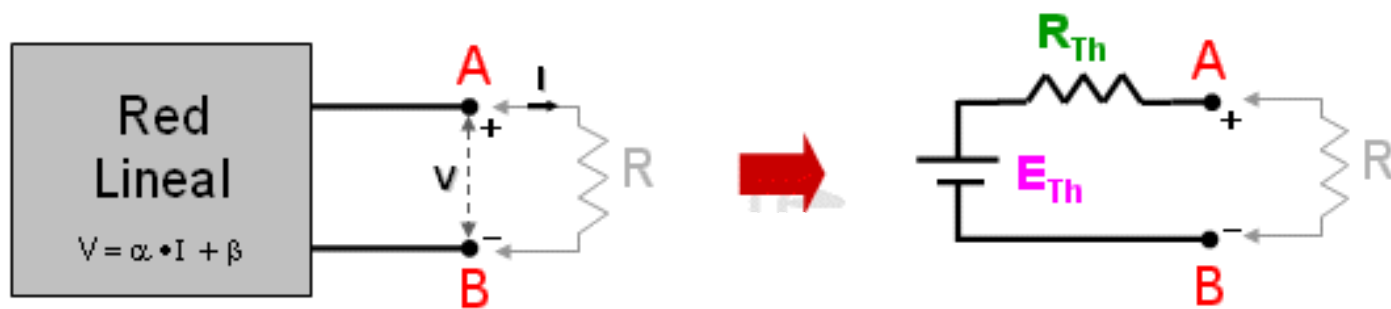
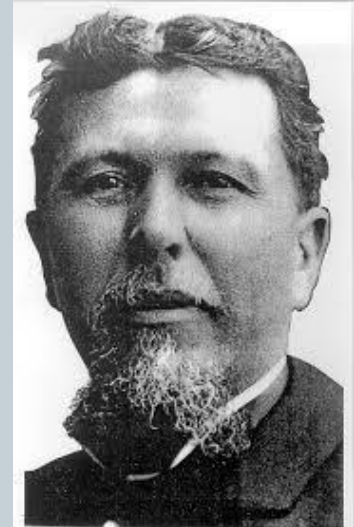


No se puede ... ¿por qué?



# El Teorema de ... Thevenin?

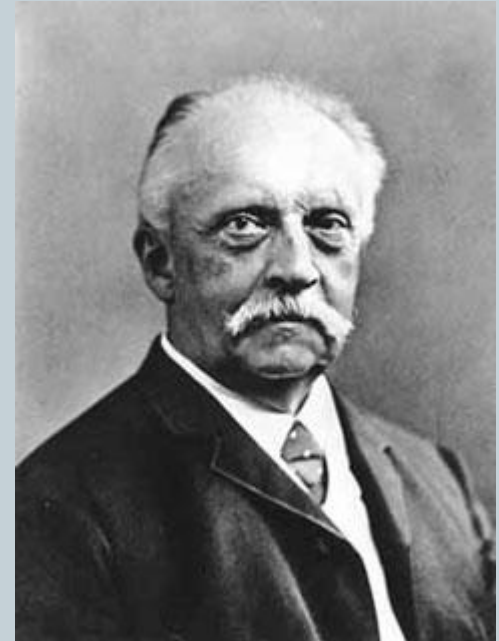
León Charles Thevenin (Francia 1857-1926) expuso públicamente en 1883 su teorema relativo a la representación de cualquier circuito lineal activo como equivalente a una fuente de tensión de valor apropiado (actualmente llamado *tensión de Thevenin*, o  $V_{th}$ ) en serie con una resistencia de valor apropiado (actualmente llamada *Resistencia de Thevenin*, o  $R_{th}$ )



# O el teorema de Helmholtz?



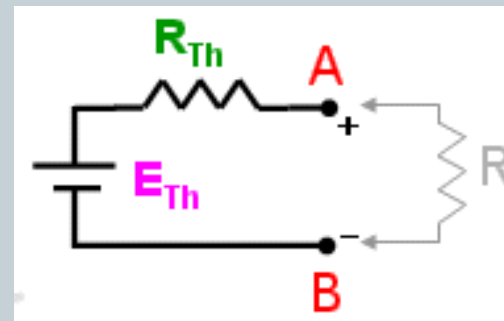
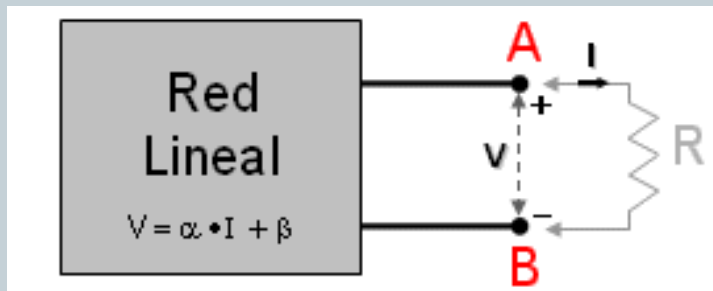
**Hermann Helmholtz** (1821-1894): Médico (doctor en anatomía), oftalmólogo, teórico de música, psicólogo y físico alemán. Realizó aportes en acústica (el resonador de Helmholtz), óptica (el oftalmoscopio), electromagnetismo (es el autor del principio de superposición), calor (estableció el equivalente mecánico del calor), psicología experimental, y electricidad. Fueron alumnos suyos Wilhelm Wundt, fundador de la psicología experimental, y los físicos Heinrich Hertz y Max Planck. En 1853 publicó un trabajo donde presentó el principio de superposición y exponía como consecuencia la posibilidad de reducir cualquier circuito lineal a un equivalente de una fuente de tensión en serie con una resistencia. Thevenin redescubrió en forma independiente este hecho, sin saber que Helmholtz lo había publicado 4 años antes de su propio nacimiento. El teorema se sigue conociendo en la electrotecnia como “de Thevenin” debido a que, en honor a la verdad, fue éste quien ofreció múltiples ejemplos de aplicación de esta propiedad y la enseñó en la Escuela de Ingeniería de Telégrafos de Francia a todos los ingenieros eléctricos que pasaron por allí.



# Teorema de Thevenin: Demostración



- Al abrir un circuito en dos puntos cualesquiera de este, en principio sabemos que habrá presente una tensión (aún cuando ésta sea cero). Podríamos pensar en un circuito equivalente conformado por una fuente de tensión cuyo valor sea el de tensión a circuito abierto (digamos  $V_{th}$ )
- Al conectarle a esos dos puntos una carga, comienza a circular una corriente que pasa por los terminales, recorre la carga y reingresa al circuito (si la tensión no es nula)
- Si la tensión no es nula, el modelo del comportamiento de la red lineal no puede ser únicamente una fuente, pues si hago  $R=0$  no cumpliría Kirchhoff. Una resistencia en paralelo tendría el mismo problema. Por lo tanto, debo poner una resistencia en serie que me permita cumplir LK.
- El valor de  $R$  en serie ( $R_{th}$ ) no puede, evidentemente, ser cualquiera. Para asegurar el correcto comportamiento, podemos ver los casos extremos: Si la carga es un corto, no hay definición sobre el valor de  $R_{th}$ . Si es circuito abierto, tampoco.





# Teorema de Thevenin: Demostración (II)

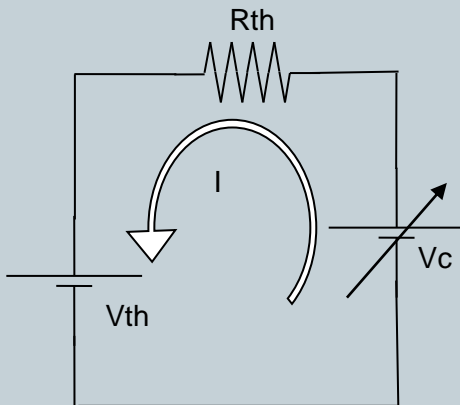


- Sin embargo, podríamos pensar en conectar al circuito una fuente en la carga en lugar de una resistencia. En esa circunstancia, podríamos aplicar el teorema de superposición: la corriente que circularía por la fuente conectada entre A y B debe ser la misma que la suma de las corrientes provocadas por cada fuente. En particular, nos conviene plantear las ecuaciones:

$$I = \frac{V_c}{R_{th}} - \frac{V_{Th}}{R_{th}}$$

$$I = \frac{V_c}{R_{th}}$$

$$I = -\frac{V_{th}}{R_{th}}$$



- Viendo la ecuación resaltada, podemos afirmar que el valor de  $R_{th}$  es la que provoca una circulación de corriente  $I$  cuando todas las fuentes internas independientes son puestas a cero (tensión reemplazadas por corto y corriente por circuito abierto). La otra ecuación debe ajustarse, pues será la corriente que circulará cuando  $V_c=0$ .

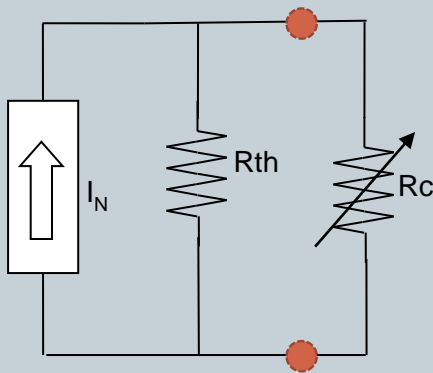
# Teorema de Norton



Viendo el circuito equivalente de Thevenin, puede verse que si se reemplaza la carga (resistencia o tensión) por un cortocircuito, la corriente que circulará será:

$$I = \frac{V_{th}}{R_{th}}$$

Evidentemente, un circuito que podría reemplazar al de Thevenin sería uno formado por un generador de corriente cuyo valor sea el de más arriba con una resistencia en paralelo  $R_{th}$ , como vimos en transformaciones de fuentes reales:



A este equivalente se le dice “de Norton”, y está formado por un generador de corriente “de Norton”  $I_N$ , calculada poniendo en cortocircuito los bornes en estudio, en paralelo con una resistencia calculada como lo hicimos al estudiar el circuito equivalente de Thevenin