

# Fundamentos Físicos y Tecnológicos

## Tema 2. Circuitos en Corriente Continua

Isabel M. Tienda Luna

Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores  
Universidad de Granada

isabelt@ugr.es

Grado en Informática - Doble Grado en Informática y Matemáticas  
Curso 2015-2016

- 1 Corriente Eléctrica
- 2 Ley de Ohm. Resistencia
- 3 Fuerza Electromotriz. Generadores y fuentes
- 4 Potencia en Corriente Continua
- 5 Leyes de Kirchhoff
- 6 Técnicas de Análisis de circuitos
- 7 Corrientes no estacionarias

- 1 Corriente Eléctrica
- 2 Ley de Ohm. Resistencia
- 3 Fuerza Electromotriz. Generadores y fuentes
- 4 Potencia en Corriente Continua
- 5 Leyes de Kirchhoff
- 6 Técnicas de Análisis de circuitos
- 7 Corrientes no estacionarias

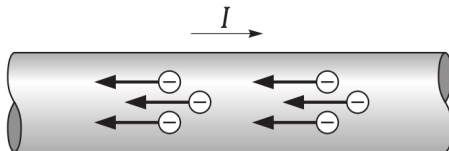
# Conceptos

## Corriente Eléctrica

La **corriente eléctrica** es el conjunto de las cargas que circulan a través de un conductor. La **conducción**, es el proceso por el cual la carga se transporta.

## Convenio

**Convenimos** en asignar el sentido de la corriente eléctrica al que tienen los portadores de carga positiva. Como la corriente eléctrica está producida por un campo eléctrico, ésta tiene el mismo sentido que el campo.

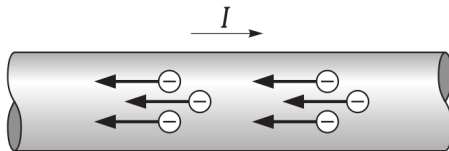


# Intensidad de corriente

## Intensidad de corriente

La **intensidad de corriente** es la velocidad a la que se transporta la carga por un punto dado en un sistema conductor. Es la cantidad de carga por unidad de tiempo que atraviesa un conductor.

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad \left( \frac{\text{Culombio}}{\text{segundo}} = \text{Amperio} \right) \quad (1)$$



- 1 Corriente Eléctrica
- 2 Ley de Ohm. Resistencia**
- 3 Fuerza Electromotriz. Generadores y fuentes
- 4 Potencia en Corriente Continua
- 5 Leyes de Kirchhoff
- 6 Técnicas de Análisis de circuitos
- 7 Corrientes no estacionarias

# Ley de Ohm

## Definición de Resistencia

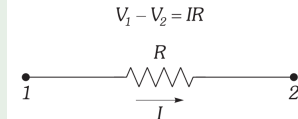
La resistencia es la medida de la oposición de los hilos conductores al movimiento de los electrones en su seno.



## Ley de Ohm

$$V_1 - V_2 = IR \quad (2)$$

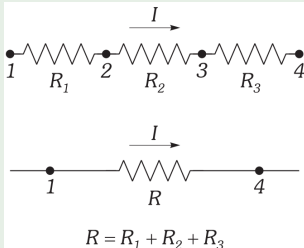
## Representación en un circuito



- La resistencia depende de la temperatura. ¿Aumenta o disminuye con T?

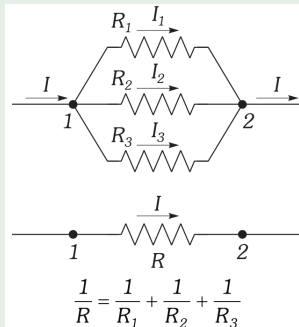
# Asociación de resistencias

## Asociación serie



- Misma intensidad
- Diferente diferencia de potencial

## Asociación paralelo



- Diferente intensidad
- Misma diferencia de potencial



- $$U = I^2 R t = \frac{(V_1 - V_2)^2}{R} t \quad (3)$$

- $$P = I^2 R = \frac{(V_1 - V_2)^2}{R} \quad (4)$$

- ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡ ≡ ≡ ≡ ↺ 🔍 ↻

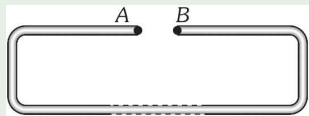
- 1 Corriente Eléctrica
- 2 Ley de Ohm. Resistencia
- 3 Fuerza Electromotriz. Generadores y fuentes**
- 4 Potencia en Corriente Continua
- 5 Leyes de Kirchhoff
- 6 Técnicas de Análisis de circuitos
- 7 Corrientes no estacionarias

# Fuerza electromotriz

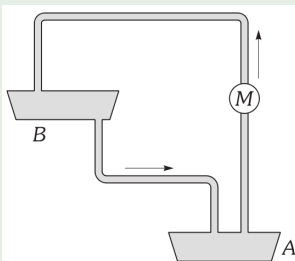
## Fuerza electromotriz

La **fuerza electromotriz** (fem) ( $\varepsilon$ ) es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor o de producir una corriente eléctrica que lo atraviese.

Electrostática



Símil hidrodinámico



## Fem de un generador

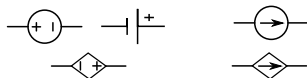
En un generador, la **fuerza electromotriz** (fem) ( $\varepsilon$ ) es el trabajo necesario para el transporte de la unidad de carga positiva del polo negativo (menor potencial) al positivo (mayor potencial) por el interior del generador.

$$\varepsilon = \frac{U}{q} \Rightarrow U = \varepsilon q \Rightarrow U = \varepsilon It \quad (5)$$

¿En qué se emplea la energía  $U$ ?

- calor (resistencia interna del generador,  $r$ )
- energía potencial de las cargas que hace que circulen

Representación en un circuito:



# Diferencia de potencial entre los polos de un generador

¿Toda la energía del generador va a las cargas?

La **diferencia de potencial** entre los polos de un generador es igual a su fem menos  $Ir$ , donde  $r$  es la resistencia interna del generador.

$$V_1 - V_2 = \varepsilon - Ir \quad (6)$$

**Convenio de signos (ecuación (6)):**

- $V_1 - V_2$  en la fórmula anterior será siempre la diferencia de potencial entre el polo positivo y el negativo del generador,  $\varepsilon$  será, así, siempre positiva cuando se aplique esta fórmula.
- $I$  será positiva o negativa dependiendo de si su sentido es “saliente” o “entrante” con respecto al polo positivo del generador.

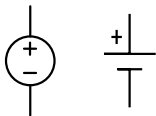
**Rendimiento:**  $\eta = \frac{\text{potencial útil}}{\text{potencial teórico}} = \frac{(V_1 - V_2)}{\varepsilon}$

# Tipos de fuentes: dependientes e independientes

## Fuentes Independientes

- Definición de fuente independiente.
- Tipos de fuentes independientes: de tensión y de corriente.
- Símbolos de las fuentes independientes.

Fuentes  
de  
Tensión



Fuente  
de  
Corriente

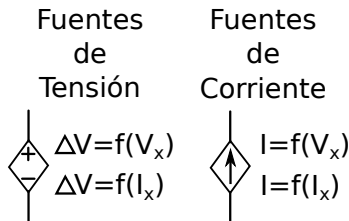


- Fuentes de tensión:** la **diferencia de potencial** es **constante**. La intensidad depende del circuito donde estén.
- Fuentes de corriente:** la **intensidad** es **constante**. La diferencia de potencial depende del circuito donde estén.

# Tipos de fuentes: dependientes e independientes

## Fuentes Dependientes

- Definición de fuente dependiente.
- Tipos de fuentes dependientes: de tensión dependiente de una tensión, de tensión dependiente de una corriente, de corriente dependiente de una tensión y de corriente dependiente de una corriente.
- Símbolos de las fuentes dependientes.



# Tipos de elementos en un circuito: asociaciones

- **Tipos** de elementos en un circuito:
  - elementos activos
  - elementos pasivos
- **Asociación** de fuentes ideales:
  - las fuentes de **tensión** se asocian en **serie**
  - las fuentes de **corriente/intensidad** se asocian en **paralelo**
- **Asociación** de resistencias



- 1 Corriente Eléctrica
- 2 Ley de Ohm. Resistencia
- 3 Fuerza Electromotriz. Generadores y fuentes
- 4 Potencia en Corriente Continua**
- 5 Leyes de Kirchhoff
- 6 Técnicas de Análisis de circuitos
- 7 Corrientes no estacionarias

# Cálculo de potencia en Corriente Continua

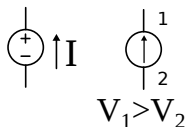
- Resistencias:

- **Siempre** consumen potencia.
- Cálculo:  $P = I\Delta V$  o equivalentemente usar ecuación 4.

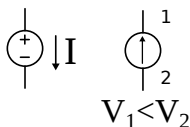
- Fuentes:

- Cuando sólo tengo una fuente en un circuito, ésta siempre suministra potencia. Si tengo más de una fuente, éstas pueden suministrar o consumir potencia.
- Cálculo:  $P = I\Delta V$ .
- Criterio:

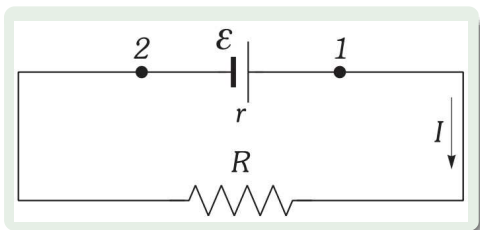
Suministra



Consume



# Conservación de la energía



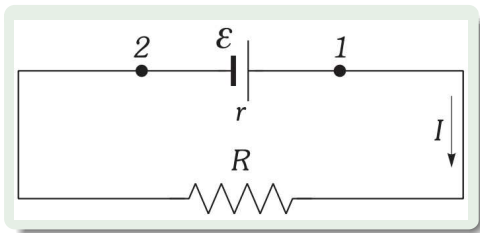
- Conservación de la energía:  
Potencia suministrada igual a potencia consumida

$$\begin{aligned}\varepsilon I &= I^2 R + I^2 r \\ I &= \frac{\varepsilon}{R + r}\end{aligned}$$

La intensidad de la corriente es directamente proporcional a la fem e inversamente proporcional a la resistencia total del circuito:

$$I = \frac{\sum \varepsilon_i}{R_t}$$

# Conservación de la energía



Datos:

- $R=10k\Omega$
- $r=20\Omega$
- $\varepsilon=10V$

$$I = \frac{\sum \varepsilon_i}{R_t} = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{10V}{1020\Omega} = 9,8mA$$

- Potencia suministrada por la fuente:

$$P = \varepsilon I = 10V * 9,8mA = 98mW$$

- Potencia consumida por R:  $P = I^2 R = 96,04mW$

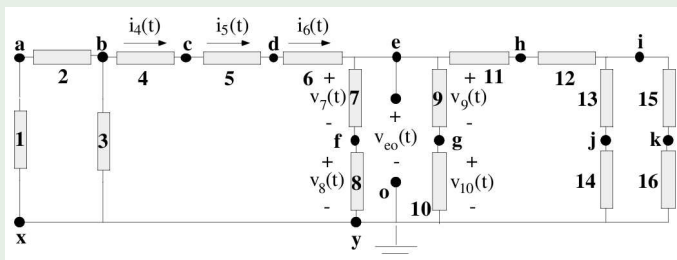
- Potencia consumida por r:  $P = I^2 r = 1,96mW$

- 1 Corriente Eléctrica
- 2 Ley de Ohm. Resistencia
- 3 Fuerza Electromotriz. Generadores y fuentes
- 4 Potencia en Corriente Continua
- 5 Leyes de Kirchhoff**
- 6 Técnicas de Análisis de circuitos
- 7 Corrientes no estacionarias

# Nomenclatura

- **Nudo:** punto donde se conectan dos o más elementos
- **Nudo esencial:** nudo en el que se conectan tres o más elementos; en un circuito hay  $n$  nudos esenciales
- **Nudo de referencia** (tierra, masa): nudo al que se asigna arbitrariamente una tensión nula; se indica explícitamente y sólo hay uno en cada circuito
- **Rama esencial:** camino entre dos nudos esenciales; en un circuito hay  $r$  ramas esenciales

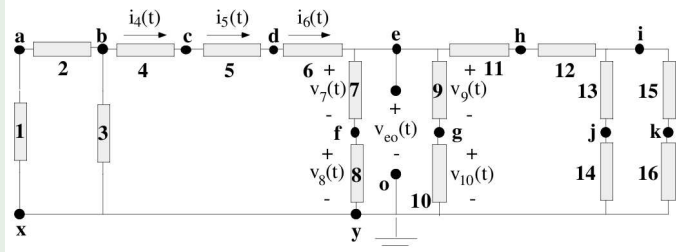
## Ejemplo 2



# Nomenclatura

- **Malla:** conjunto cerrado de elementos que se recorre sin pasar dos veces por ninguno; en un circuito hay  $r - (n - 1)$  mallas independientes
- **Elementos en serie:** tienen un nudo común al que no se conecta otro elemento; las corrientes en elementos en serie son iguales
- **Elementos en paralelo:** los terminales de todos se conectan a los mismos nudos; las tensiones en elementos en paralelo son iguales

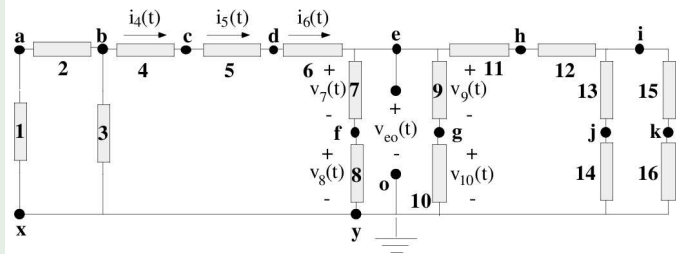
## Ejemplo 2



# Nomenclatura

- **Circuito abierto:** par de nudos sin conexión directa; la corriente es nula, pero puede soportar tensión (resistencia infinita)
- **Corto-circuito:** conexión directa entre dos elementos; la tensión es nula, pero puede soportar corriente (resistencia nula)

## Ejemplo 2





# Leyes de Kirchhoff

Las **leyes de Kirchhoff** sólo son aplicables en régimen estacionario, es decir, cuando las intensidades y los potenciales en los distintos puntos del circuito permanecen constantes.

## Ley de Nudos

La suma de las intensidades de corriente que llegan a un nudo es igual a la suma de las intensidades que salen de él.

$$\sum I_{entran} = \sum I_{salen} \quad (7)$$

## Ley de Mallas

En un circuito cerrado, la suma de los productos de las intensidades por las resistencias es igual a la suma de las fem.

$$\sum IR = \sum \varepsilon \quad (8)$$

# Signo de las intensidades y la fem

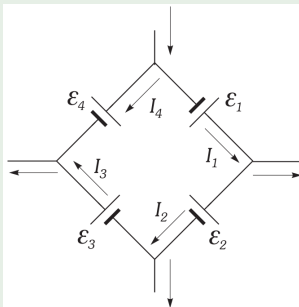
## Intensidades

- Usamos un **criterio de signos**: se pinta de forma arbitraria sentido de las intensidades de corriente. **Por ejemplo**, se da el signo positivo a las que circulan en el sentido de las agujas de un reloj; las contrarias son las negativas.
- Tras resolver el circuito se comprueba la bondad de la suposición.

## Fem

- Signo dependiendo de la corriente que la atraviesa.
- Es positiva cuando la intensidad de corriente que la atraviesa sale por el polo positivo. Es negativa en caso contrario.

## Ejemplo 1



- 1 Corriente Eléctrica
- 2 Ley de Ohm. Resistencia
- 3 Fuerza Electromotriz. Generadores y fuentes
- 4 Potencia en Corriente Continua
- 5 Leyes de Kirchhoff
- 6 Técnicas de Análisis de circuitos**
- 7 Corrientes no estacionarias

# Análisis por mallas

## Procedimiento

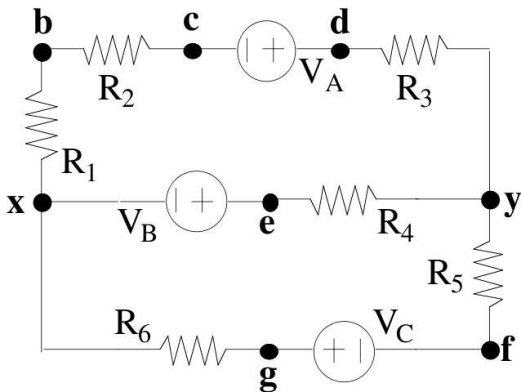
- 1 Se asigna una corriente a cada malla independiente. Las corrientes de malla no tienen existencia real, las de rama sí.
- 2 Se formula una ecuación por cada malla independiente (ley de Kirchhoff de las mallas). Relaciona las fuentes de tensión con la corriente de malla, las resistencias de la malla, las resistencias compartidas con otras mallas, y las corrientes en esas resistencias.
- 3 Se añaden tantas ecuaciones adicionales como fuentes independientes de corriente y fuentes dependientes haya en el circuito. Los elementos *extraños* (*fuentes de corriente o fuentes dependientes*) han de proporcionar las ecuaciones adicionales

## Resultado

- Se obtienen las **corrientes de malla**. A partir de las corrientes es posible calcular cualquier otra magnitud en el circuito.

# Análisis por mallas

## Ejemplo 3



# Análisis por nudos

## Procedimiento

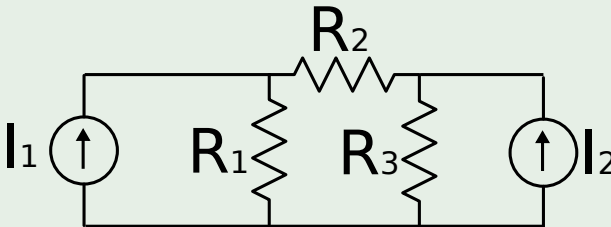
- 1 Se elige un nudo esencial como referencia y se le asigna una tensión nula. Las tensiones de nudo no tienen existencia real. Lo que se mide es diferencia de tensión. Al asignar tensión nula a un nudo, coinciden la tensión de nudo y la diferencia de tensión entre éste y el de referencia.
- 2 Se asignan las tensiones a los restantes nudos esenciales.
- 3 Se formula una ecuación para cada nudo esencial, exceptuando el de referencia (ley de Kirchhoff de nudos). Relaciona las fuentes de corriente conectadas al nudo, las resistencias conectadas a éste, las resistencias compartidas con otros nudos y las tensiones de éstos.
- 4 Se añaden tantas ecuaciones adicionales como fuentes independientes de tensión y fuentes dependientes haya en el circuito. Los elementos *extraños* (*fuentes de tensión o fuentes dependientes*) han de proporcionar las ecuaciones adicionales

## Resultado

- Se obtienen las **tensiones de los nudos**. A partir de las tensiones es posible calcular cualquier otra magnitud en el circuito.

# Análisis por nudos

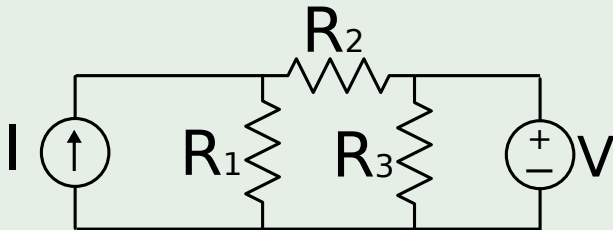
Ejemplo 4



## ¿Qué método uso si hay fuentes de tensión y de corriente?

Calcular  $I_{R_2}$  usando Método de Mallas/Método de Nudos

### Ejemplo 5: ¿Mallas o Nudos?



- Puedo usar cualquiera de los métodos explicados en este tema.
- **Advertencia:** Al usar el método de mallas para resolver este circuito, **NO** puede afirmarse que la fem o diferencia de potencial entre los extremos de la fuente de corriente es cero.



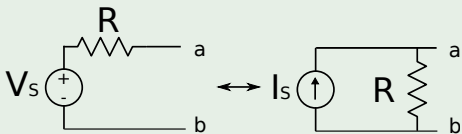
# Métodos de Simplificación

## Reducción

Aunque los métodos derivados de la aplicación de las leyes de Kirchhoff constituyen herramientas muy potentes para la solución de circuitos, en general el uso de métodos que permitan simplificar los circuitos siempre es más deseable. Ejemplos de reducción son el uso de equivalencias serie-paralelo o  $\Delta$ -Y.

## Transformación entre fuentes

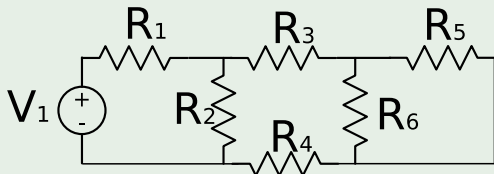
### Equivalencia



$$I_S = \frac{V_S}{R}$$

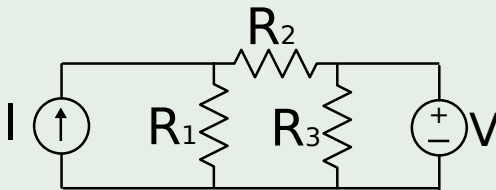
# Métodos de Simplificación

## Ejemplo 6: Reducción



Calcular  $I_{R_2}$  usando un Método de Simplificación.

## Ejemplo 5: Simplificación



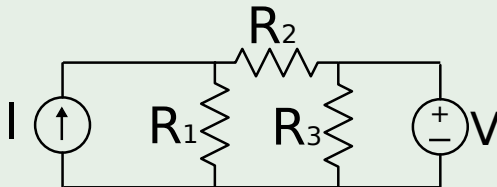
# Circuitos lineales: Principio de Superposición

## Principio de Superposición

En cualquier red resistiva lineal, la tensión o la corriente a través de cualquier resistencia o fuente se calcula mediante la suma algebraica de todas las tensiones o corrientes individuales ocasionadas por fuentes independientes separadas que actúan solas, junto con todas las demás fuentes de tensión independientes sustituidas por cortocircuitos y todas las demás fuentes de corrientes independientes, sustituidas por circuitos abiertos.

Calcular  $I_{R_2}$  usando el Principio de Superposición

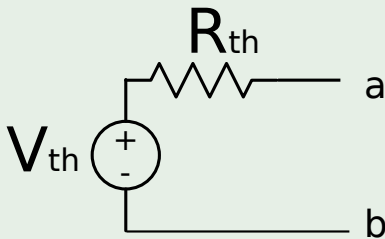
### Ejemplo 5: Principio Superposición



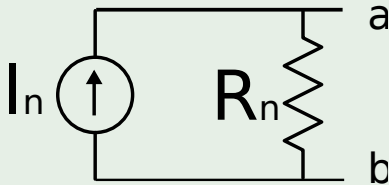
# Equivalentes Thevenin y Norton

- Motivación
- Definición de Equivalente Thevenin.
- Cálculo del Equivalente Thevenin.
- Definición del Equivalente Norton.
- Cálculo del Equivalente Norton.

## Thevenin



## Norton



- 1 Corriente Eléctrica
- 2 Ley de Ohm. Resistencia
- 3 Fuerza Electromotriz. Generadores y fuentes
- 4 Potencia en Corriente Continua
- 5 Leyes de Kirchhoff
- 6 Técnicas de Análisis de circuitos
- 7 Corrientes no estacionarias

# Condensadores en corrientes estacionarias

- Relación intensidad-voltaje

$$i = C \frac{dv}{dt} \quad (9)$$

- Representación en un circuito
- Unidades (Faradios)
- Asociación en serie:

$$\frac{1}{C_{equiv}} = \sum_i \frac{1}{C_i} \quad (10)$$

- Asociación en paralelo:

$$C_{equiv} = \sum_i C_i \quad (11)$$

- Energía:

$$U = \frac{1}{2} C v^2 \quad (12)$$

- Comportamiento en CC: circuito abierto.

# Inductores en corrientes estacionarias

- Relación intensidad-voltaje

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (13)$$

- Representación en un circuito
- Unidades (Henrio)
- Asociación en paralelo:

$$\frac{1}{L_{equiv}} = \sum_i \frac{1}{L_i} \quad (14)$$

- Asociación en serie:

$$L_{equiv} = \sum_i L_i \quad (15)$$

- Energía:

$$U = \frac{1}{2} Li^2 \quad (16)$$

- Comportamiento en CC: cortocircuito.

# Condensadores e inductores en corrientes no estacionarias

## Condensadores

- Relación intensidad-voltaje

$$v(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(t) dt + v(t_0) \quad (17)$$

- Potencia

$$p = iv = Cv \frac{dv}{dt} \quad (18)$$

## Inductores

- Relación intensidad-voltaje

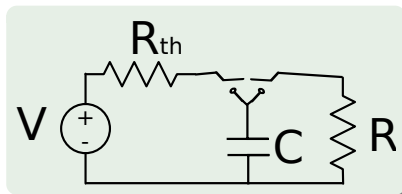
$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(t) dt + i(t_0) \quad (19)$$

- Potencia

$$p = iv = Li \frac{di}{dt} \quad (20)$$



## Circuito RC



- Ecuación diferencial

$$C \frac{dv}{dt} + \frac{v}{R} = 0 \quad (21)$$

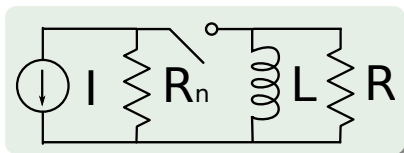
- Condiciones iniciales

$$v(0^-) = v(0^+) = v(0) = V \quad (22)$$

- Solución:

$$v(t) = V e^{-t/RC} \quad (23)$$

## Circuito RL



- Ecuación diferencial

$$L \frac{di}{dt} + Ri = 0 \quad (24)$$

- Condiciones iniciales

$$i(0^-) = i(0^+) = i(0) = I \quad (25)$$

- Solución:

$$i(t) = Ie^{-tR/L} \quad (26)$$