

# FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

*José Francisco Gómez  
González*

*Benjamín González Díaz*

*María de la Peña Fabiani  
Bendicho*

*Ernesto Pereda de Pablo*



**Universidad  
de La Laguna**

**Departamento de  
Ingeniería Industrial**



# Tema 0: Repaso de conceptos



# PUNTOS OBJETO DE ESTUDIO

- ▶ Introducción
- ▶ Carga eléctrica
- ▶ Corriente eléctrica
- ▶ Ley de Ohm
- ▶ Tensión (diferencia de potencial)
- ▶ Potencia
- ▶ Efecto Joule
- ▶ leyes de Kirchhoffs
- ▶ Elementos pasivos y activos, y su asociación.

# Introducción

- ▶ Electromagnetismo: Estudia los campos eléctricos y magnéticos y su interacción
- ▶ Teoría de circuitos: Estudia las relaciones entre corrientes y tensiones de un circuito
- ▶ Magnitudes básicas:
  - ▶ Carga eléctrica.
  - ▶ Corriente eléctrica.
  - ▶ Tensión o diferencia de potencial.
  - ▶ Potencia eléctrica

# Introducción

**Electromagnetismo:**

Estudia los campos eléctricos y magnéticos y su interacción

**Teoría de circuitos:**

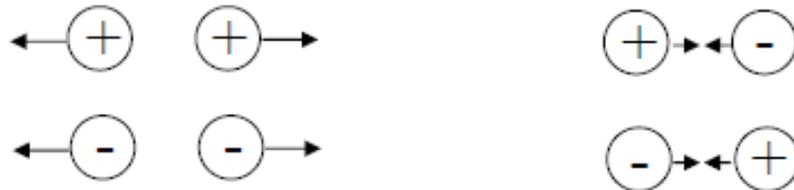
Estudia las relaciones entre corrientes y tensiones de un circuito

Basadas en las mismas observaciones experimentales.

```
graph TD; A[Electromagnetismo: Estudia los campos eléctricos y magnéticos y su interacción] --> C((Basadas en las mismas observaciones experimentales.)); B[Teoría de circuitos: Estudia las relaciones entre corrientes y tensiones de un circuito] --> C;
```

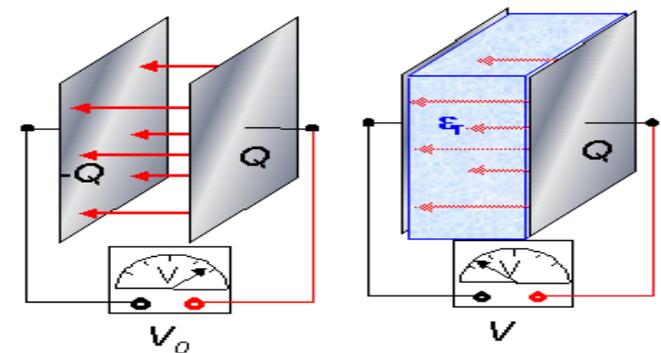
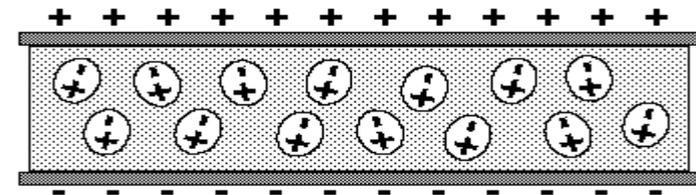
# Carga eléctrica

- ▶ Es la base para describir los fenómenos eléctricos
- ▶ Propiedad de la materia presente en todos los cuerpos
- ▶ Es de naturaleza bipolar (+ ó -)
- ▶ El trasvase de carga entre unos cuerpos y otros es el origen de cualquier fenómeno eléctrico.
- ▶ Unidad SI: [C]  $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$
- ▶ El signo de las cargas es arbitrario, pero de él depende la interacción entre ellas.



# Corriente Eléctrica

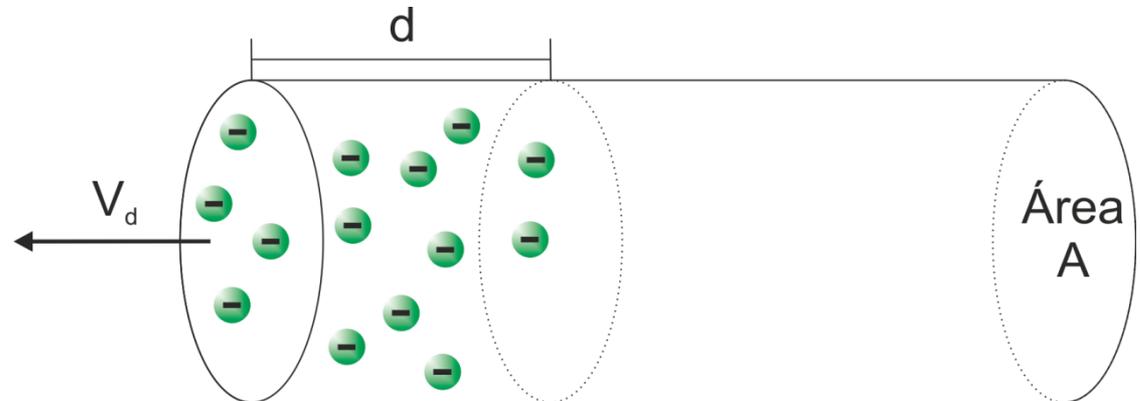
- ▶ Se produce por el desplazamiento de las cargas en un material.
- ▶ Se define como la variación de carga por unidad de tiempo en la sección transversal de un conductor:
- ▶  $i = dq/dt$  [A]
- ▶ Una diferencia de voltaje genera una Fuerza Eléctrica
  - ▶ Cargas ligadas  $\rightarrow$  dieléctricos o aislantes
    - ▶ Reorientación de las cargas
    - ▶ Momento dipolar eléctrico
- ▶ Disminuye el campo en el interior
  - ▶ No hay paso de corriente
  - ▶ Campo de ruptura (Volt/m)
    - ▶ Ejemplo: rayo
  - ▶ Cargas libres en los conductores
    - ▶ Generación de corrientes



# Corriente Eléctrica

- ▶ Microscópicamente

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{n \cdot e \cdot A \cdot d}{d / v_d}$$



- ▶ Cuestión: ¿Cuánto vale la velocidad  $v_d$ ?

# Velocidad de desplazamiento (I)

- ▶ Para el caso de un alambre de cobre típico de radio 0,815 mm con una corriente de 1 A y suponiendo que existe un electrón libre por átomo.
  - ▶ La velocidad está relacionada con la intensidad y la densidad numérica de portadores de carga:  $I = nqv_dA$
  - ▶ Si hay un electrón libre por átomo  $n = n_a$
  - ▶ Como la densidad numérica  $n_a$  de los átomos está relacionada con la densidad de masa,  $\rho_m$ , el número de Avogadro  $N_a$ , y la masa molar  $M$ . Para el cobre  $\rho_m = 8,93 \text{ g/cm}^3$  y  $M = 63,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$  por lo que
  - ▶  $n_a = \frac{\rho_m N_a}{M} = 8,47 \times 10^{28} \text{ átomos/m}^3$

# Velocidad de desplazamiento (II)

- ▶ El valor absoluto de la carga es  $e$  y el área está relacionada con el radio  $r$  del cable:

- ▶  $q = e; A = \pi r^2$

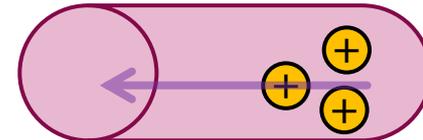
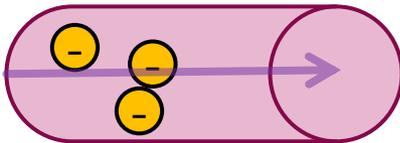
- ▶ Por lo que aplicando los valores obtenemos que

- ▶ 
$$v_d = \frac{1}{nqA} = \frac{1}{n_e e \pi r^2} = \frac{1C/s}{(8,47 \times 10^{28} m^{-3})(1,6 \times 10^{-19} C)\pi(8,15 \times 10^{-4} m)^2} =$$

$$3,54 \times 10^{-5} \frac{m}{s} = 3,54 \times 10^{-2} mm/s$$

# Convenio de signo

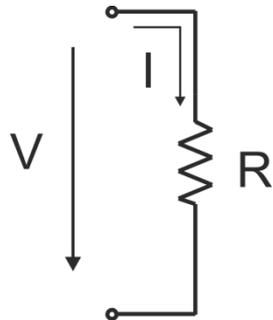
- ▶ Se considera que la corriente eléctrica es un movimiento de cargas de  $V^+$  a  $V^-$
- ▶ Corriente continua  $\rightarrow$  sentido constante
- ▶ Es equivalente suponer un desplazamiento de electrones en un sentido
- ▶ Que suponer un desplazamiento de una cantidad de carga  $+$  equivalente en sentido opuesto



# Ley de Ohm

- ▶ En muchos conductores se observa una relación directa entre el voltaje y la intensidad: Resistencia.
- ▶ R es la resistencia del material al paso de la intensidad de corriente I y se mide Ohmnios, W.
- ▶  $\rho$  -aumenta en los conductores, aumenta con la temperatura T.

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



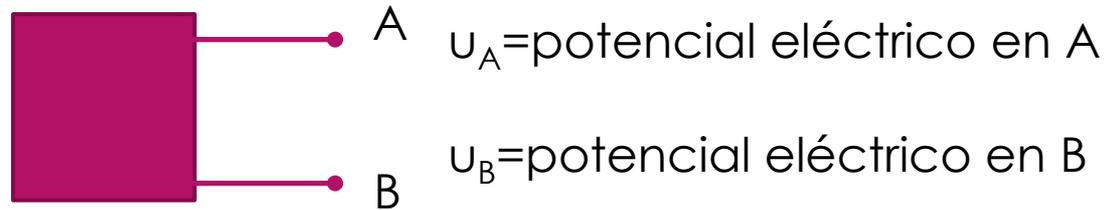
$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$\rho$  = resistividad [ $\Omega$  m],  
L = longitud  
A =sección

$$\sigma = \frac{1}{\rho}; \text{ conductividad (Siemens)}$$

# Tensión o diferencia de potencial

- ▶ Trabajo que se debe suministrar para mover una carga entre dos puntos de un circuito
- ▶  $u = \frac{dw}{dq}$  Unidad en SI:  $[V] = \frac{[J]}{[C]}$
- ▶  $U_{AB} = U_A - U_B =$  diferencia de potencial entre A y B



- ▶  $U_{AB} > 0$ :
  - ▶ A está a mayor potencial que B (al pasar de A a B las cargas pierden energía)
- ▶  $U_{AB} < 0$ :
  - ▶ A está a menor potencial que B (al pasar de A a B las cargas ganan energía)

# Potencia de la corriente eléctrica

- ▶ Movimiento de cargas de un potencial  $V+$  a  $V-$   $\rightarrow \downarrow U_e$
- ▶  $U_e \rightarrow$  transportada por los portadores de carga, se transforma.
  - ▶ ¿En qué?  $\rightarrow$  diferentes variables  $\rightarrow$  diferentes elementos eléctricos
- ▶ Potencia  $\rightarrow$  energía transformada por unidad de tiempo
- ▶ 
$$p(t) = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u(t) \cdot i(t); [w] = \frac{[J]}{[s]}$$
  - ▶ El dipolo absorbe potencia cuando  $p > 0$  (ej. resistencia)
  - ▶ El dipolo cede potencia cuando  $p < 0$  (ej. generador)

# Ley de Joule

- ▶ Si el cambio de voltaje tiene lugar por la resistencia del material

$$P = I\Delta V = I^2 R$$

- ▶ En la R, la energía eléctrica se transforma en calor
- ▶ Cantidad de energía producida

$$U = P t = I^2 R t \quad [J]$$

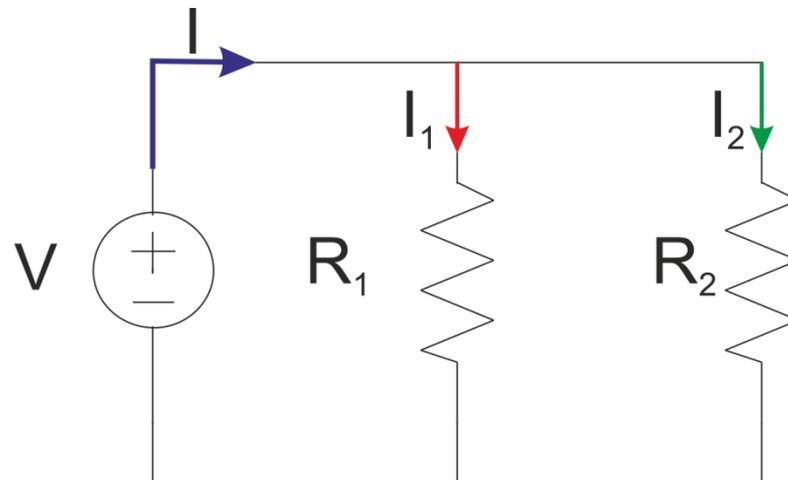
!!!Existe siempre!!!

(cualquier material tiene una R)

*Pérdidas por efecto Joule*

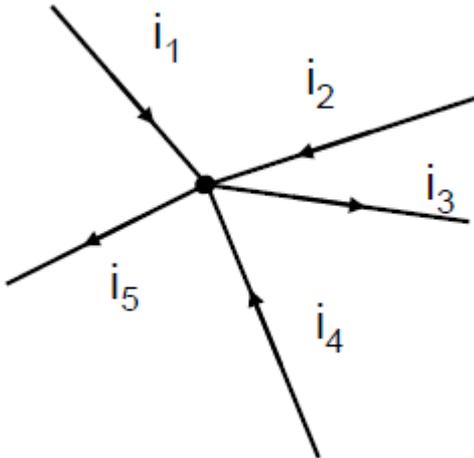
# Circuitos de CC

- ▶ Conjunto de elementos combinados de modo que se pueda producir una corriente eléctrica
  - ▶ Elementos activos: suministran energía eléctrica
  - ▶ Elementos pasivos: consumen energía eléctrica

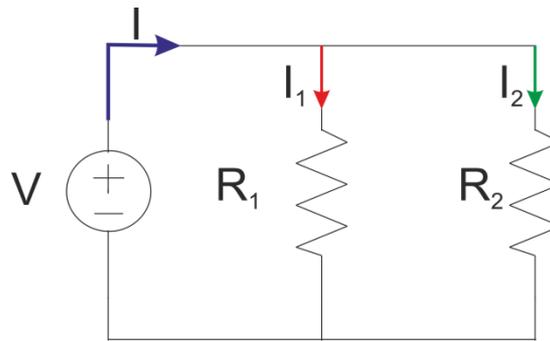


# Primera ley de Kirchhoff (PLK)

- ▶ Ley de Kirchhoff de las corrientes (o de los nudos)
- ▶ “La suma algebraica de las corrientes en un nudo es cero”:  
 $\sum i(t) = 0$
- ▶ ¡Conservación de la carga!



$$i_1 + i_2 - i_3 + i_4 - i_5 = 0$$



*Divisor de corriente*

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

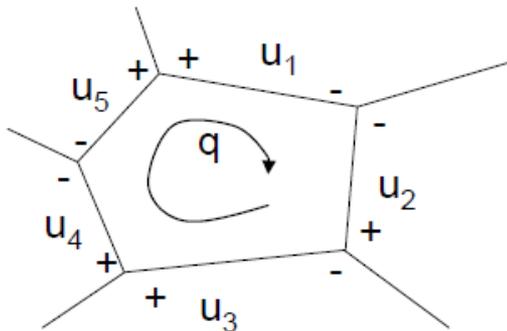
$$I_i = \frac{V_B}{R_i}$$

$$I = V_B \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow$$

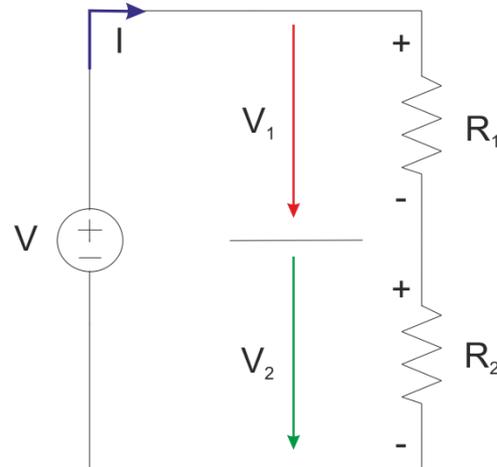
$$I = \frac{V_B}{R_1 \parallel R_2}; \text{ con } R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

# Segunda ley de Kirchhoff (SLK)

- ▶ Permiten analizar las corrientes y los voltajes en cada uno de los elementos del circuito
- ▶ Ley de Kirchhoff de las tensiones (también llamada de las mallas)
- ▶ “La suma algebraica de las tensiones en una malla es cero”:  
 $\sum v(t) = 0$



$$u_1 - u_2 - u_3 + u_4 - u_5 = 0$$



*Divisor de tensión*

$$V_B - V_1 - V_2 = 0$$

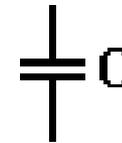
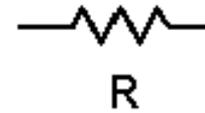
$$V_i = IR_i$$

$$V_B = I(R_1 + R_2) \Rightarrow$$

$$I = \frac{V_B}{(R_1 + R_2)}$$

# Elementos pasivos

- ▶ Consumen o almacenan energía eléctrica
- ▶ Disipan o almacenan energía
  - ▶ Disipan:
    - ▶ resistencia
  - ▶ Almacenan:
    - ▶ Condensador (campo eléctrico)
    - ▶ Bobina (magnético)



# Elementos pasivos

- ▶ En general se consideran:
  - ▶ Elementos ideales.
  - ▶ Parámetros concentrados: Cuando se conecta una fuente, se obtiene directamente una respuesta por parte de los elementos.
  - ▶ Conectados por conductores ideales: no absorben potencia ( $R=0$ ,  $L=0$ ,  $C=0$ ).

# Resistencia

- ▶ Elemento del circuito en el que se disipa potencia en forma de calor
- ▶ Resistencia ideal: se omiten efectos inductivos.
- ▶ Resistividad: La resistencia que opone un conductor al paso de corriente depende de su conductividad y de su geometría

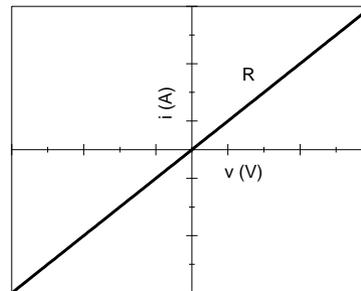
$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S}$$

- ▶  $\rho$ = resistividad
- ▶ L=longitud del conductor
- ▶ S= sección del conductor
- ▶  $\sigma$ = conductividad

Material	Resistividad (en 20 °C- 25 °C) ( $\Omega \cdot m$ )	Material	Resistividad (en 20 °C- 25 °C) ( $\Omega \cdot m$ )
Plata	$1,55 \times 10^{-8}$	Hierro	$9,71 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,71 \times 10^{-8}$	Platino	$10,60 \times 10^{-8}$
Oro	$2,22 \times 10^{-8}$	Estaño	$11,50 \times 10^{-8}$
Aluminio	$2,82 \times 10^{-8}$	Acero inoxidable 301	$72,00 \times 10^{-8}$
Wolframio	$5,65 \times 10^{-8}$	Grafito	$60,00 \times 10^{-8}$
Níquel	$6,40 \times 10^{-8}$		

# Resistencia en un circuito

- ▶ En la resistencia se produce una caída de tensión.
- ▶ Las cargas pierden energía que se disipa en forma de calor
- ▶  $u = Ri$
- ▶ Unidades en el SI:  $[\Omega] = \frac{[V]}{[A]}$ ;  $[S] = \frac{1}{[\Omega]}$
- ▶ Característica  $u/i$  de una resistencia



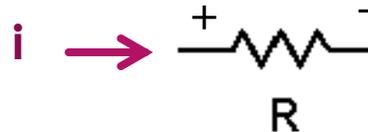
# Potencia y energía

- ▶ Potencia disipada

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = R \cdot i^2 = \frac{u^2}{R} \geq 0$$

- ▶ En una R la potencia se disipa en forma de calor
- ▶ Energía disipada:

$$w(t) = \int_{t_0}^t Ri^2(\tau)d\tau = \int_{t_0}^t \frac{u^2(\tau)}{R} d\tau \geq 0$$

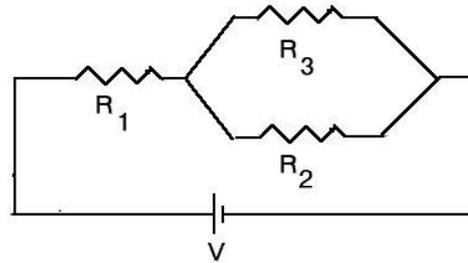


# Notación de circuitos

- ▶ Terminales : extremos de los elementos
- ▶ Caída de tensión: diferencia de  $V$
- ▶ Tierra: a potencial cero
- ▶ Circuito abierto: resistencia infinita (no circula corriente)
- ▶ Cortocircuito: paso de corriente sin caída de tensión

# Partes de un circuito

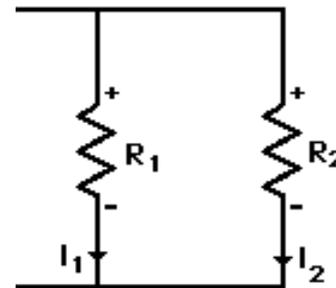
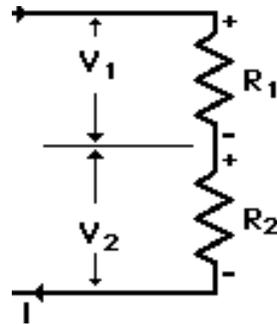
- ▶ Nudo: punto de un circuito donde se unen dos o más conductores.
- ▶ Rama: elementos de un circuito entre dos nudos consecutivos.
- ▶ Malla: conjunto de ramas que forman un camino cerrado y que ni se subdividen ni pasan 2 veces por la misma rama.



- ▶ Convenio de signos:
  - ▶ Corriente: circula siempre del potencial mayor o positivo (+) al potencial menor o negativo (-)
  - ▶ (polaridad de los elementos).

# Tipos de conexiones entre elementos

- ▶ Serie : circula por ellos la misma corriente (izquierda)
- ▶ Paralelo: sus terminales conectados entre si (derecha)



- ▶ Estrella: tres elementos con un terminal común
- ▶ Triángulo: tres elementos forman un circuito cerrado

# Método de las corrientes en las mallas

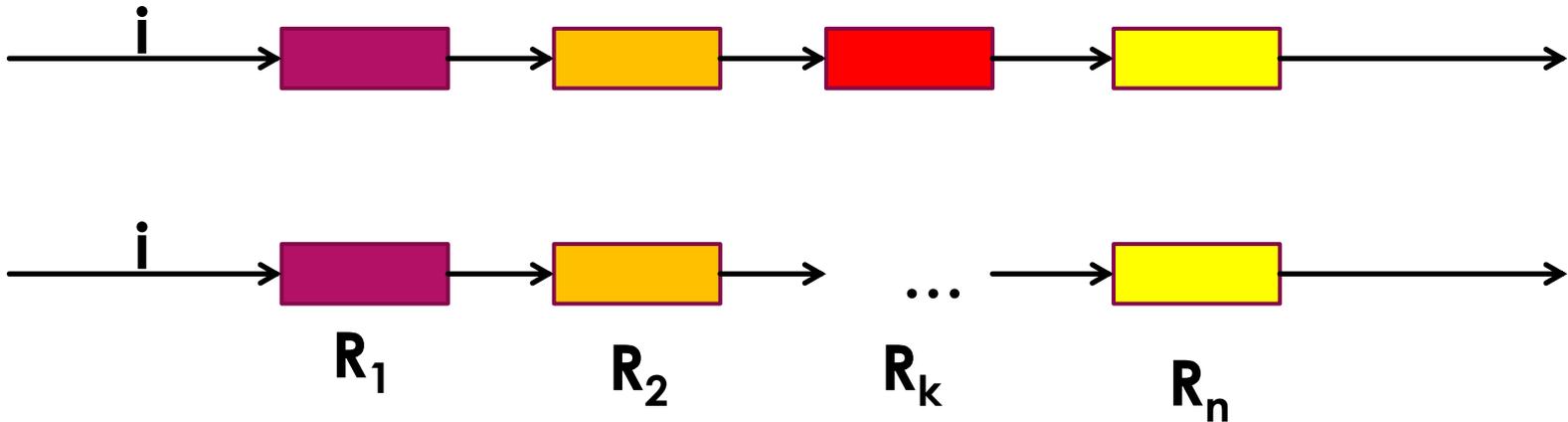
- ▶ Se asigna a cada ventana una corriente total en bucle cerrado
- ▶ Se le da a cada corriente un sentido arbitrario (generalmente el mismo sentido a todas)
- ▶ Se escriben la ley de Kirchhoff para las tensiones en cada bucle para obtener las ecuaciones correspondientes
  - ▶ Por cada elemento del circuito debe pasar al menos una corriente
  - ▶ Dos elementos en distintas ramas no pueden tener asignadas las mismas corrientes
  - ▶ Se obtienen las corrientes (incógnitas).

# Método de las tensiones en los nudos

- ▶ Uno de los nudos principales (3 ó más ramas) se toma como referencia
- ▶ Se aplica la ley de Kirchoff de los nudos a los demás nudos principales
  - ▶ A cada nudo principal se les asigna una tensión respecto de la del nudo de referencia
  - ▶ Se obtienen las tensiones (incógnitas)

# Asociación de resistencias en serie

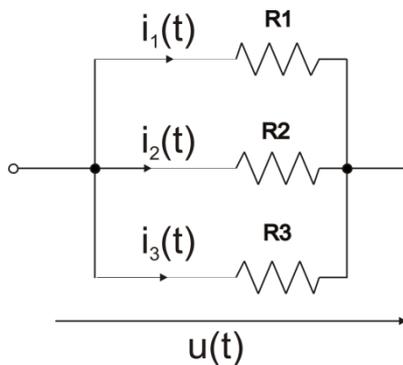
- ▶ Dos o más elementos están en serie si por ellos circula la misma intensidad



- ▶  $u = u_1 + u_2 + \dots + u_n = iR_1 + iR_2 + \dots + iR_n = i\sum R_i \Rightarrow R_{eq} = \sum R_i$

# sociación de resistencias en paralelo

- ▶ Dos o más elementos están en paralelo si están sometidos a la misma tensión



$$i(t) = i_{R1} + i_{R2} + i_{R3} = \frac{1}{R_1} u(t) + \frac{1}{R_2} u(t) + \frac{1}{R_3} u(t) = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) u(t) = \frac{1}{R_{eq}} u(t)$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\sum \frac{1}{R_i}} = \left( \sum \frac{1}{R_i} \right)^{-1}$$

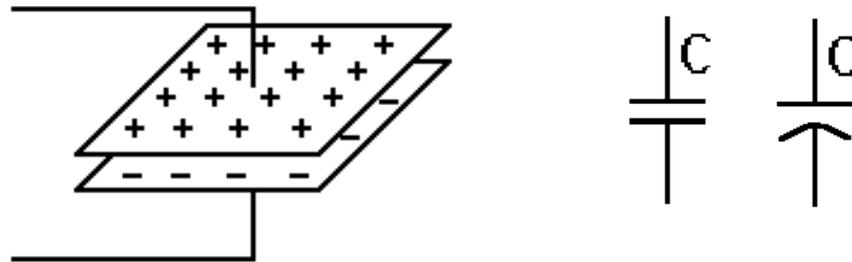
- ▶ Considerando las conductancias

$$i(t) = i_{R1} + i_{R2} + i_{R3} = G_1 u(t) + G_2 u(t) + G_3 u(t) = (G_1 + G_2 + G_3) u(t) = G_{eq} u(t)$$

$$G_{eq} = \sum G_i$$

# Condensadores

- ▶ Elementos pasivos de un circuito que almacenan energía en forma de potencial eléctrico
- ▶ Dos placas de material conductor que almacenan carga eléctrica de distinto signo, separadas por un dieléctrico

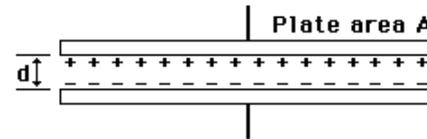


- ▶ Se caracterizan por su capacidad

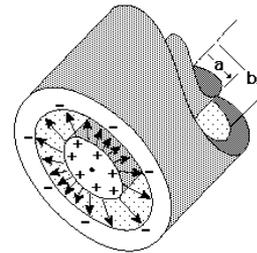
$$C = \frac{Q}{V} \quad [F] \quad (\text{normalmente } pF, nF, \mu F)$$

# Capacidad

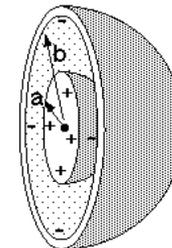
- ▶ Depende sólo de factores geométricos (forma, tamaño) y de la permitividad eléctrica del dieléctrico,  $\epsilon$ .
- ▶ Tipos de condensadores
  - ▶ No electrolíticos : mica, cerámicos
  - ▶ Electrolíticos : tántalo y aluminio
    - ▶ Capacidades mayores
    - ▶ Polarizables



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



$$C = \frac{2\pi L k \epsilon}{\ln \left[ \frac{b}{a} \right]}$$



$$C = \frac{Q}{V} = \frac{4\pi\epsilon}{\left[ \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right]}$$

# Relación v/i

- ▶ Sabiendo que la carga es  $q(t) = C \cdot V(t)$
- ▶ El incremento de carga es  $dq(t) = I(t)$  por lo que  $I(t) = d(C \cdot V(t)) = CdV(t)$ .
- ▶ La corriente es  $i(t) = C \frac{dV(t)}{dt}$ .
- ▶ La tensión: suponiendo que para un tiempo  $t=-\infty$  el condensador está descargado se obtiene  $u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(t)dt$ .

# Potencia en el condensador

$$p(t) = u(t)i(t) = Cu(t)\frac{du(t)}{dt}$$

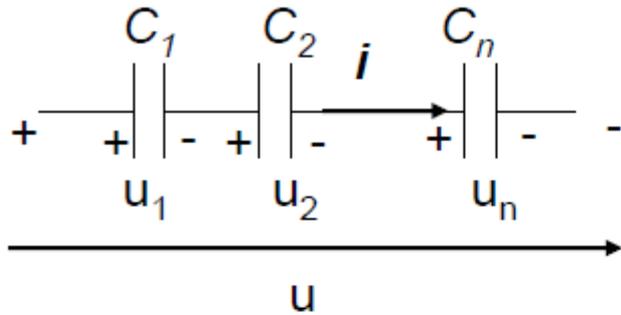
La potencia puede ser  $>$  ó  $<$  que  $0 \Rightarrow$  el condensador absorbe o cede potencia

# Energía en el condensador

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p(t) dt = \int_{-\infty}^t C u(t) du = \frac{1}{2} C u(t)^2 = \frac{1}{2} \frac{1}{C} q(t)^2 = \frac{1}{2} q(t) u(t)$$

- ▶ Un condensador no consume energía, la almacena en el campo eléctrico que se crea y está a disposición de devolverla al circuito cuando cambia el sentido de la corriente, produciéndose un proceso de descarga. (Por eso es pasivo).
- ▶ En los condensadores además de la capacidad C, hay que tener en cuenta la tensión de trabajo, y la máxima corriente que puede admitir

# sociación de condensadores en serie



$$u = u_1 + u_2 + \dots + u_n$$

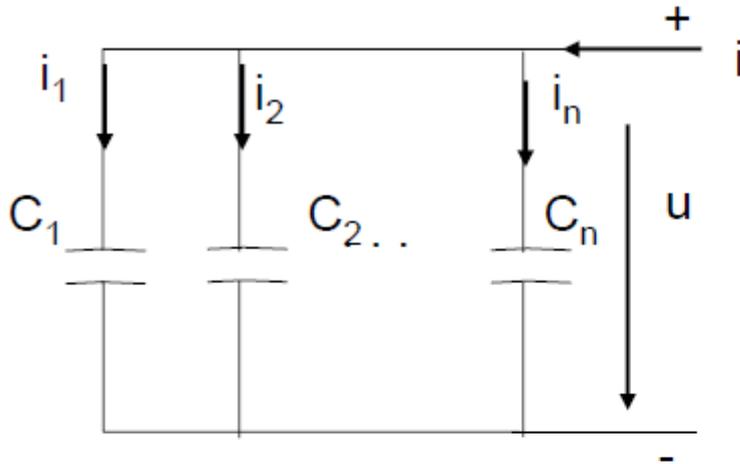
$$\frac{du_k}{dt} = \frac{1}{C_k} i$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{du_1}{dt} + \frac{du_2}{dt} + \dots + \frac{du_n}{dt} = \frac{1}{C_1} i + \frac{1}{C_2} i + \dots + \frac{1}{C_n} i =$$

$$= \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \right) i = C_{eq} i$$

$$\boxed{\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

# Asociación de condensadores en paralelo



$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

$$i_k = C_k \frac{du}{dt}$$

$$i = C_1 \frac{du}{dt} + C_2 \frac{du}{dt} + \dots + C_n \frac{du}{dt} = (C_1 + C_2 + \dots + C_n) \frac{du}{dt} = C_{eq} \frac{du}{dt}$$

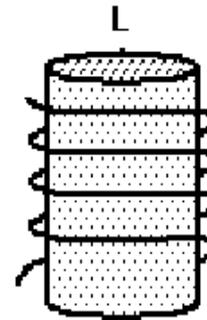
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

# Bobinas

- ▶ Físicamente está constituida por un conjunto de espiras puestas en serie, una a continuación de la otra, formadas por un mismo conductor, de forma que cuando circula por ella corriente esta tiene el mismo sentido en todas ellas.
- ▶ El parámetro que la define es la inductancia y la unidad es el henrio (H):

$$L = \frac{N^2}{\frac{1}{\mu} \frac{l}{S}} = \frac{N^2}{\mathfrak{R}}$$

- ▶ N= número de espiras
- ▶ l=longitud
- ▶ S=sección del núcleo
- ▶  $\mu$ = permeabilidad
- ▶ R= reluctancia



# Relación u/i

- ▶ Si  $i$  que recorre la bobina es variable en el tiempo  $\Rightarrow \Phi$  es variable  $\Rightarrow$  Se induce una f.e.m. que se opone al flujo (FaradayLenz).

$$\lambda(t) = N\phi(t) = Li(t)$$
$$u(t) = \frac{d\lambda(t)}{dt} = L \frac{di(t)}{dt}$$

- ▶ Suponiendo que para un tiempo  $t=-\infty$  la bobina está descargada

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(t) dt$$

# Potencia

$$p(t) = u(t)i(t) = Li(t) \frac{di(t)}{dt}$$

- ▶ La potencia puede ser  $>$  ó  $<$  que  $0 \Rightarrow$  la bobina absorbe o cede potencia

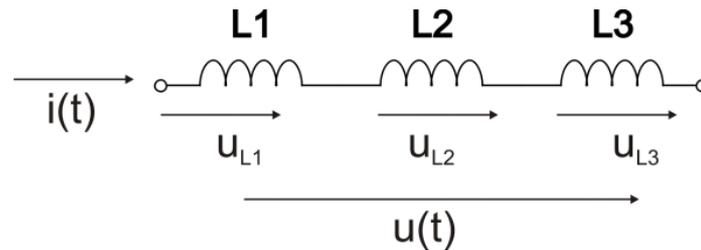
# Energía

- ▶ Suponiendo que  $i(0)=0$

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p(t) dt = \int_{-\infty}^t Li(t) di = \frac{1}{2} Li(t)^2 = \frac{1}{2} N\phi(t)i(t)$$

- ▶ Una bobina no consume energía, la almacena en el campo magnético que se crea y está en disposición de devolverla al circuito cuando cambia el sentido de la tensión, produciéndose la descarga. (Pasivo).

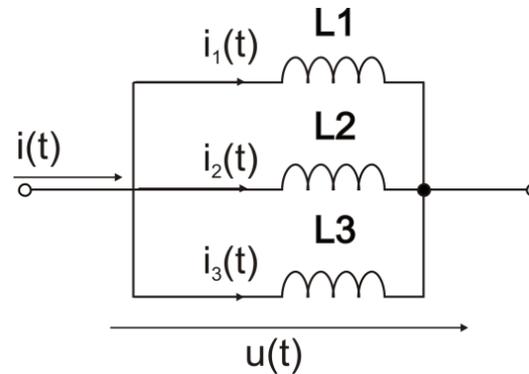
# Asociación de bobinas en serie



$$u(t) = u_{L1} + u_{L2} + u_{L3} = L_1 \frac{di(t)}{dt} + L_2 \frac{di(t)}{dt} + L_3 \frac{di(t)}{dt} = (L_1 + L_2 + L_3) \frac{di(t)}{dt} = L_{eq} \frac{di(t)}{dt}$$

$$L_{eq} = \sum L_i$$

# Asociación de bobinas en paralelo



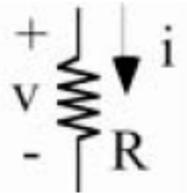
$$i(t) = i_{L1} + i_{L2} + i_{L3} = \frac{1}{L_1} \int u(t) dt + \frac{1}{L_2} \int u(t) dt + \frac{1}{L_3} \int u(t) dt = \left( \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \right) \int u(t) dt = \frac{1}{L_{eq}} \int u(t) dt$$

$$\frac{1}{L_{eq}} = \left( \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \right)$$

$$L_{eq} = \frac{1}{\sum \frac{1}{L_i}} = \left( \sum \frac{1}{L_i} \right)^{-1}$$

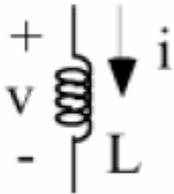
# Resumen elementos pasivos

- Resistencia



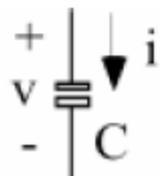
$$u(t) = Ri(t) \quad i(t) = Gu(t)$$

- Bobina



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

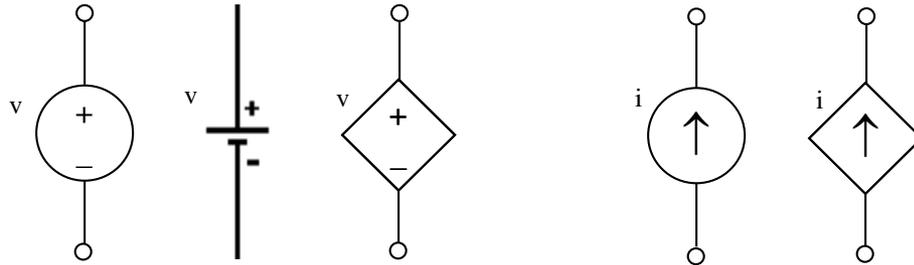
- Condensador



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

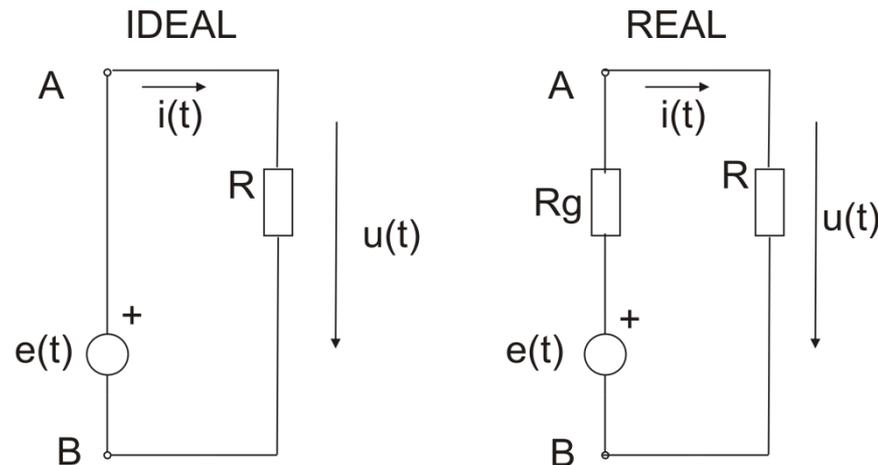
# Elementos activos

- Fuentes de voltaje y de corriente: proporcionan energía eléctrica al circuito



# Fuentes de tensión

- ▶ La misión de este elemento es suministrar energía al circuito eléctrico, de forma que la tensión sea la magnitud de referencia del mismo. Evidentemente, cuando esté conectada a un elemento o circuito circulará una corriente que dependerá de los elementos conectados, pero la tensión mantiene (dentro de unos ciertos límites) su propia ley de variación. En la figura se ve el signo que indica que cuando la función  $e(t)$  toma valores positivos, el punto A está a mayor tensión que el B.



# Fuentes reales

- ▶ En el caso ideal la tensión en la carga es

$$u(t) = e(t)$$

- ▶ En el caso real la tensión en la carga es

$$u(t) = e(t) \frac{R}{Rg + R}$$

- ▶ y la potencia es

$$p(t) = u(t)i(t) = e(t)i(t)$$

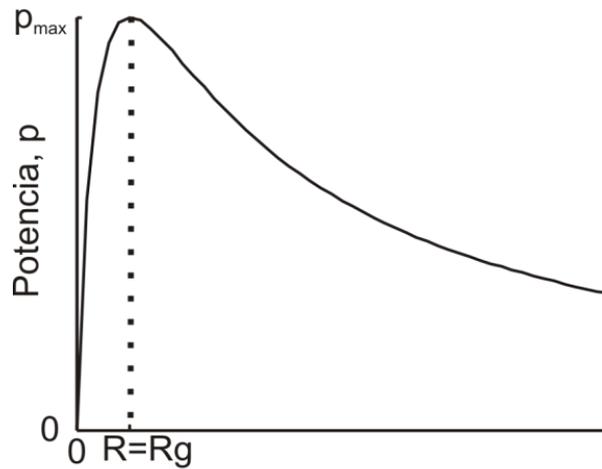
$$p(t) = u(t)i(t) = e(t)i(t) \frac{R}{Rg + R} = e(t)^2 \frac{R}{(Rg + R)^2}$$

- ▶ Por tanto vemos que la transferencia máxima de potencia en el caso real ocurre cuando la resistencia de carga es igual a la resistencia interna de la fuente. Para demostrarlo buscamos el valor de  $R$  para tener el máximo de la potencia derivando e igualando a cero

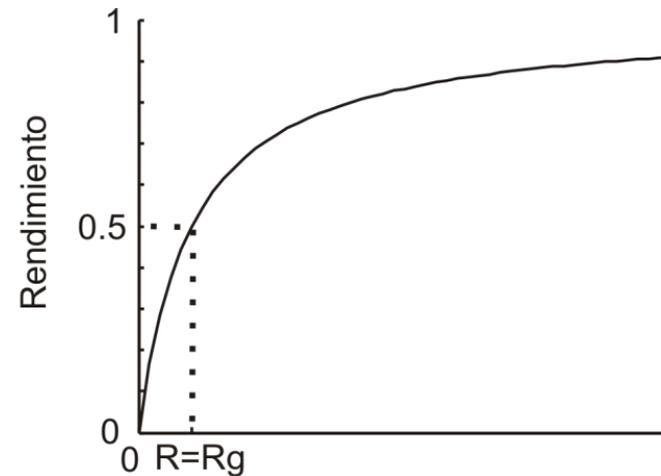
$$\frac{dp(t)}{dR} = e(t)^2 \frac{(Rg + R)^2 - 2R(Rg + R)}{(Rg + R)^4} = 0$$

$$(Rg + R)^2 - 2R(Rg + R) = 0 \Rightarrow (Rg + R) - 2R = 0 \Rightarrow R = Rg$$

# Rendimiento de una fuente real



Resistencia de la carga



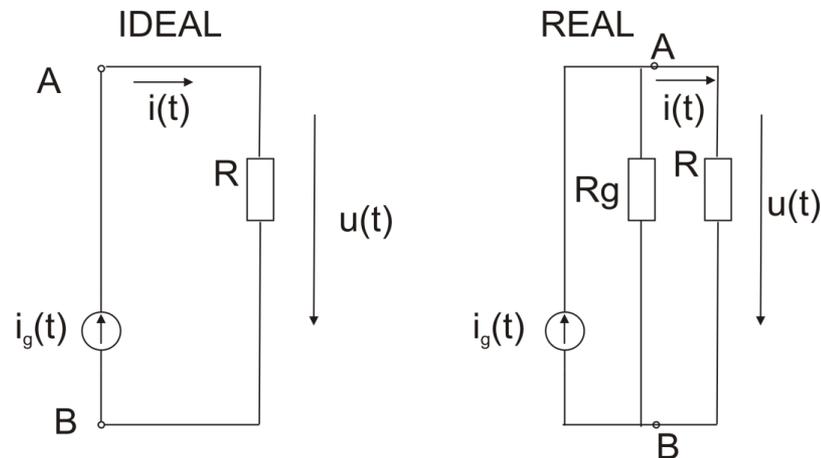
Resistencia de la carga

- El rendimiento de la fuente sería el cociente entre la potencia entregada a la carga y la total consumida por la fuente

$$\eta = \frac{u(t)i(t)}{e(t)i(t)} = \frac{R}{R_g + R}$$

# Fuentes de intensidad

- ▶ La misión de este elemento es suministrar energía al circuito eléctrico, de forma que la intensidad sea la magnitud de referencia del mismo. Cuando esté conectada a un elemento o circuito existirá una tensión entre sus extremos, que dependerá de la carga que se le conecte, pero la intensidad mantiene (dentro de unos ciertos límites) su propia ley de variación.



- ▶ En el comportamiento real hay una impedancia en paralelo con la fuente ideal de corriente,  $i_g(t)$ , y hace que la intensidad de salida  $i(t)$  de la fuente sea menor que el valor ideal debido a la intensidad que se desvía por él.