

06_corriente_circuitos_cc

June 19, 2026

1 06 — Corriente eléctrica y circuitos de corriente continua

Física II · GIERM · Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica

Apuntes propios destilados de los oficiales del Dpto. Física Aplicada III (tema *Corriente eléctrica*). Enfoque de **examen**: primero el ejemplo resuelto, luego el porqué; resultados y uso por delante de las demostraciones largas.

1.1 Mapa del tema

1. Corriente e intensidad — qué es y de dónde sale.
2. Densidad de corriente $\vec{J}$ y velocidad de deriva.
3. Ley de Ohm, resistividad y resistencia de un hilo.
4. Potencia y efecto Joule.
5. Asociación de resistencias (serie y paralelo).
6. Fuentes de fem: batería ideal y real.
7. **Leyes de Kirchhoff** (nodos y mallas) — el núcleo de examen.
8. Circuito **RC**: carga y descarga.

A lo largo del notebook hay **figuras generadas con Python** (curvas RC y una red de resistencias resuelta) y **ejemplos paso a paso**, incluido un circuito de varias mallas resuelto con Kirchhoff.

numpy 1.26.4

1.2 1. Corriente eléctrica e intensidad

1.2.1 Idea central

Hay **corriente eléctrica** cuando existe un *flujo neto de carga* a través de una región. La **intensidad** I es la carga que atraviesa una sección transversal por unidad de tiempo.

1.2.2 El porqué

En un metal sin campo, los electrones libres se agitan al azar (térmicamente, $\sim 10^6$ m/s) pero **sin avance neto** $\rightarrow$ no hay corriente. Al aplicar un campo $\vec{E}$ aparece una pequeña velocidad **colectiva** superpuesta (la *velocidad de deriva* v_d): es ese movimiento ordenado, y no la rapidez individual, el que constituye la corriente.

1.2.3 Fórmulas

$$I_{\text{media}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \quad I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

Unidad: **amperio**, $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$.

Sentido de la corriente (convenio). Se toma el sentido del flujo de carga **positiva**. En un metal los portadores reales son electrones (negativos), así que la corriente apunta *en sentido contrario* a su movimiento. Suponer cargas positivas no cambia los resultados.

1.3 2. Densidad de corriente y velocidad de deriva

1.3.1 Idea central

La **densidad de corriente** $\vec{J}$ es la corriente *por unidad de área* transversal: una magnitud **local** (en cada punto), mientras que I es **global** (a través de una superficie).

1.3.2 Fórmulas

$$\vec{J} = n q \vec{v}_d, \quad I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{A}, \quad \boxed{I = J A} \text{ (si } \vec{J} \text{ uniforme y } \parallel \text{ a } \vec{A})$$

- n : número de portadores libres por unidad de volumen.
- q : carga de cada portador. v_d : velocidad de deriva. Unidad de J : A/m^2 .

Por qué $I = JA$: en un tiempo Δt cruzan la sección A todas las cargas que están a distancia $< v_d \Delta t$, es decir las del volumen $A v_d \Delta t$. Su carga es $\Delta Q = q n A v_d \Delta t$, luego $I = \Delta Q / \Delta t = n q A v_d = JA$.

1.3.3 Ejemplo resuelto 1 — Velocidad de deriva en un cable de cobre

Cable de cobre del calibre 14 ($r = 0,815 \text{ mm}$) que lleva $I = 1 \text{ A}$. Densidad de portadores $n = 8,47 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ (un electrón libre por átomo de Cu). Hallar v_d .

Planteo. De $I = n q A v_d$ despejamos $v_d = \frac{I}{n q A}$, con $A = \pi r^2$.

El resultado ($\sim 0,035 \text{ mm/s}$) muestra lo **lento** que avanza la carga: una bombilla se enciende “al instante” no porque cada electrón corra, sino porque *muchísimos* se mueven a la vez.

Area de la seccion $A = 2.087\text{e-}06 \text{ m}^2$

Velocidad de deriva $v_d = 3.532\text{e-}05 \text{ m/s} = 0.0353 \text{ mm/s}$

Distancia en 1 hora $= 0.127 \text{ m}$ ($\sim 13 \text{ cm}$)

1.4 3. Ley de Ohm, resistividad y resistencia

1.4.1 Idea central

En los materiales **óhmicos** la densidad de corriente es proporcional al campo: $\vec{J} = \sigma \vec{E}$. A nivel de circuito esto se traduce en $V = IR$ con R **constante**.

1.4.2 El porqué (matiz importante de examen)

La ley de Ohm **no es** la ecuación $V = IR$ (esa relación *define* R siempre). La ley de Ohm es el **hecho experimental** de que, en ciertos materiales, R no depende del voltaje aplicado. No es una ley fundamental: los **diodos** y **transistores** son *no óhmicos* (su no linealidad es justo lo que los hace útiles).

1.4.3 Fórmulas

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}, \quad \rho = \frac{1}{\sigma}, \quad V = IR, \quad \boxed{R = \rho \frac{L}{A}}$$

- σ : conductividad; ρ : resistividad ($\Omega \text{ m}$). Dependen **del material**, no de la geometría.
- R sí depende de la **geometría** (L , A). Unidad: Ω , con $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$.

1.4.4 Dependencia con la temperatura

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)], \quad R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

con ρ_0 a 20°C y α el coeficiente de temperatura. En metales $\alpha > 0$ (la resistencia *sube* al calentar); en el carbono y semiconductores $\alpha < 0$.

1.4.5 Ejemplo resuelto 2 — Resistencia de un hilo y efecto de la temperatura

Hilo de cobre: $L = 50 \text{ m}$, diámetro $d = 1,0 \text{ mm}$, $\rho_0 = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$, $\alpha = 3,9 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. 1. Resistencia a 20°C . 2. Resistencia a 80°C .

$$A = 7.854 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$R(20^\circ\text{C}) = 1.082 \text{ ohm}$$

$$R(80^\circ\text{C}) = 1.336 \text{ ohm} \quad (\text{sube un } 23.4 \%)$$

1.5 4. Potencia y efecto Joule

1.5.1 Idea central

Al recorrer una resistencia, los portadores pierden energía potencial que, por las colisiones con la red, se convierte en **energía interna** del material (calor): el **efecto Joule**.

1.5.2 Fórmulas

$$P = I \Delta V \xrightarrow{V=IR} \boxed{P = I^2 R = \frac{V^2}{R}}$$

Vale para cualquier dispositivo con corriente I y caída ΔV . En una resistencia toda esa potencia se disipa como calor (estufas, tostadoras, filamentos). Unidad: vatio, $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$.

1.5.3 Fuentes de fem y batería real

La **fem** ε es el trabajo por unidad de carga que la fuente entrega (en voltios; *no* es una fuerza). Una **batería ideal** tiene $\Delta V_{\text{bornes}} = \varepsilon$. Una **batería real** tiene resistencia interna r , y al circular I :

$$\Delta V_{\text{bornes}} = \varepsilon - Ir, \quad I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

La potencia total $P = \varepsilon I$ se reparte: $I^2 R$ a la carga y $I^2 r$ disipada dentro de la batería.

1.5.4 Ejemplo resuelto 3 — Batería real

Batería de $\varepsilon = 12$ V con resistencia interna $r = 0,5 \Omega$ alimentando $R = 5,5 \Omega$. Hallar I , la tensión en bornes y cómo se reparte la potencia.

```
I                = 2.000 A
V en bornes     = 11.000 V    (< eps por la caída I*r = 1.000 V)
P total fem     = 24.000 W
P en R carga    = 22.000 W
P disipada r    = 2.000 W    (suma = 24.000 W)
```

1.6 5. Asociación de resistencias

	Serie	Paralelo
Comparten	la misma intensidad I	la misma tensión V
Equivalente	$R_{eq} = \sum R_i$	$\frac{1}{R_{eq}} = \sum \frac{1}{R_i}$
R_{eq} resulta	mayor que cualquiera	menor que cualquiera

Por qué. En serie la carga pasa por todas una tras otra (mismo I) y las caídas se suman. En paralelo cada rama ve la misma ΔV y las corrientes se reparten (se suman las intensidades).

Caso de dos en paralelo, útil de memoria: $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

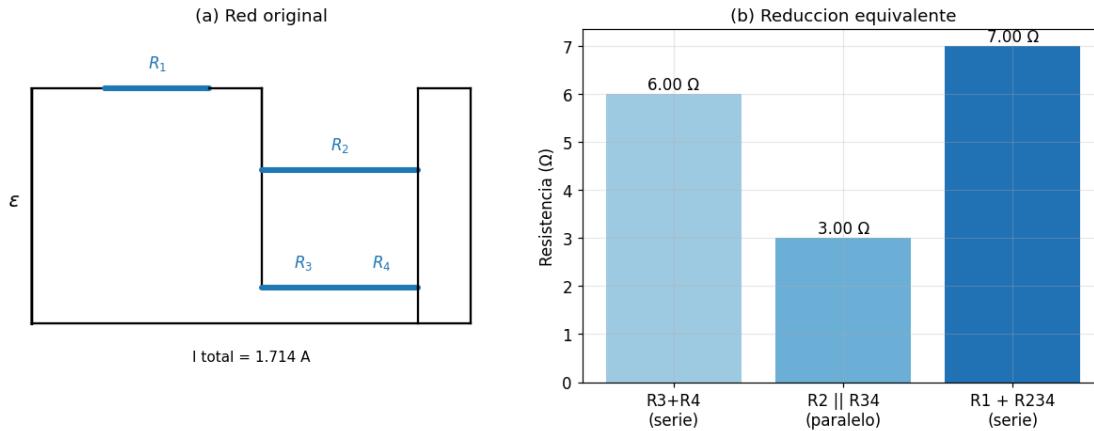
```
Serie  10 + 20 + 30    = 60.0 ohm
Paralelo 10 || 20      = 6.667 ohm
Paralelo 6 || 3 || 2   = 1.0 ohm
```

1.6.1 Figura — Red de resistencias serie-paralelo resuelta

Reducimos paso a paso una red mixta y dibujamos el resultado. Red: R_1 **en serie** con el paralelo de R_2 y (R_3 en serie con R_4), alimentada por ε .

$$R_{34} = R_3 + R_4, \quad R_{234} = R_2 \parallel R_{34}, \quad R_{eq} = R_1 + R_{234}, \quad I_{total} = \frac{\varepsilon}{R_{eq}}$$

```
R34  = 6.00 ohm
R234 = R2 || R34 = 3.000 ohm
Req   = 7.000 ohm
I_total = 1.714 A    |    I(R2) = 0.857 A    I(R3,R4) = 0.857 A
Comprobacion nodos: I_R2 + I_R34 = 1.714 A == I_total
```



1.7 6. Leyes de Kirchhoff

Cuando la red **no** se reduce a serie/paralelo, se usan las dos reglas de Kirchhoff:

- **Regla de los nodos** (conservación de la carga): en cada nodo,

$$\sum I_{\text{entran}} = \sum I_{\text{salen}}.$$

- **Regla de las mallas** (conservación de la energía): a lo largo de cualquier malla cerrada,

$$\sum \Delta V = 0.$$

1.7.1 Convenio de signos al recorrer una malla

- **Resistencia** recorrida *a favor* de la corriente asignada $\rightarrow$ el potencial **baja** ($-IR$); en *contra* $\rightarrow$ **sube** ($+IR$).
- **Batería ideal** recorrida de $-$ a $+$ $\rightarrow$ el potencial **sube** ($+\varepsilon$); de $+$ a $-$ $\rightarrow$ **baja** ($-\varepsilon$).

1.7.2 Receta de examen

1. Identifica las corrientes incógnita y **asígnale un sentido arbitrario**.
2. Aplica nodos a todos los nodos **menos uno**.
3. Aplica mallas hasta tener tantas ecuaciones independientes como incógnitas.
4. Resuelve. Si una I sale **negativa**, su sentido real es el contrario (el módulo es correcto).
5. Un condensador en una rama = **circuito abierto** en régimen estacionario ($I = 0$ en esa rama).

1.7.3 Ejemplo resuelto 4 (una malla)

Malla única: fuente de 12 V y otra de 4 V (opuestas), con resistencias 1, 5, 5 y 4 Ω en serie. La ecuación de malla (de los apuntes) es

$$12 - (1)I - (5)I - (5)I - 4 - (4)I = 0 \Rightarrow I = \frac{12 - 4}{1 + 5 + 5 + 1 + 4} = \frac{8}{16} = 0,5 \text{ A}.$$

$$I = 0.500 \text{ A}$$

1.7.4 Ejemplo resuelto 5 (varias mallas, Kirchhoff con matrices)

Circuito de dos mallas de los apuntes oficiales. Corrientes I_1 (rama izquierda), I_2 (rama derecha) e I (rama central), con el sentido elegido de modo que $I = I_1 + I_2$.

Ecuaciones (apuntes):

$$\text{Nodo: } I = I_1 + I_2$$

$$\text{Malla 1: } 12 - (4)I_1 - (3)I = 0$$

$$\text{Malla 2: } -(4)I_1 - (2)I_2 + 5 = 0$$

Sustituyendo $I = I_1 + I_2$ queda un sistema 2×2 en (I_1, I_2) que resolvemos con `numpy.linalg.solve`:

$$\begin{cases} 7I_1 + 3I_2 = 12 \\ 4I_1 + 2I_2 = 5 \end{cases}$$

$$I_1 = 4.5000 \text{ A}$$

$$I_2 = -6.5000 \text{ A} \quad (\text{negativa} \rightarrow \text{el sentido real es el opuesto al asignado})$$

$$I = I_1 + I_2 = -2.0000 \text{ A}$$

Comprobaciones:

$$\text{Nodo: } I - (I_1 + I_2) = +0.00\text{e}+00$$

$$\text{Malla 1: } 12 - 4 \cdot I_1 - 3 \cdot I = +1.78\text{e}-15$$

$$\text{Malla 2: } -4 \cdot I_1 - 2 \cdot I_2 + 5 = +0.00\text{e}+00$$

1.8 7. Circuito RC: carga y descarga

1.8.1 Idea central

Un condensador no se carga instantáneamente a través de una resistencia: lo hace con una **evolución exponencial** gobernada por la **constante de tiempo** $\tau = RC$.

1.8.2 Carga (interruptor cerrado en $t = 0$, $q(0) = 0$)

Ecuación de la malla $\varepsilon - IR - \frac{q}{C} = 0$ con $I = \frac{dq}{dt}$. Solución:

$$q(t) = C\varepsilon(1 - e^{-t/\tau}), \quad I(t) = \frac{\varepsilon}{R}e^{-t/\tau}, \quad \tau = RC.$$

En $t = 0$ toda la fem cae en R (el condensador “parece un cable”, $I_0 = \varepsilon/R$). En $t \rightarrow \infty$, $I \rightarrow 0$ y $Q_{\max} = C\varepsilon$ (el condensador “parece un circuito abierto”).

1.8.3 Descarga (el condensador cargado se cierra sobre R)

Aquí $I = -\frac{dq}{dt}$ y la solución es puramente exponencial decreciente:

$$q(t) = Q_0 e^{-t/\tau}, \quad I(t) = \frac{Q_0}{RC} e^{-t/\tau}.$$

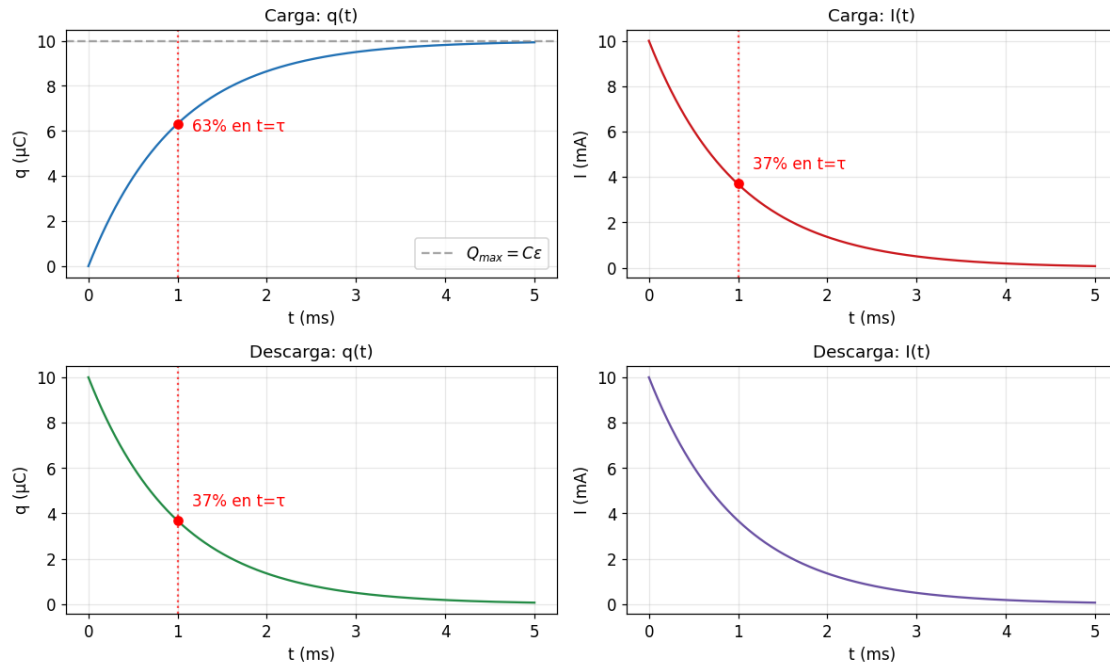
Regla práctica: en $t = \tau$ la carga llega al 63% de su valor final (carga) o cae al 37% (descarga). En $t = 5\tau$ el proceso está prácticamente completo ($> 99\%$).

1.8.4 Figura — Curvas de carga y descarga RC

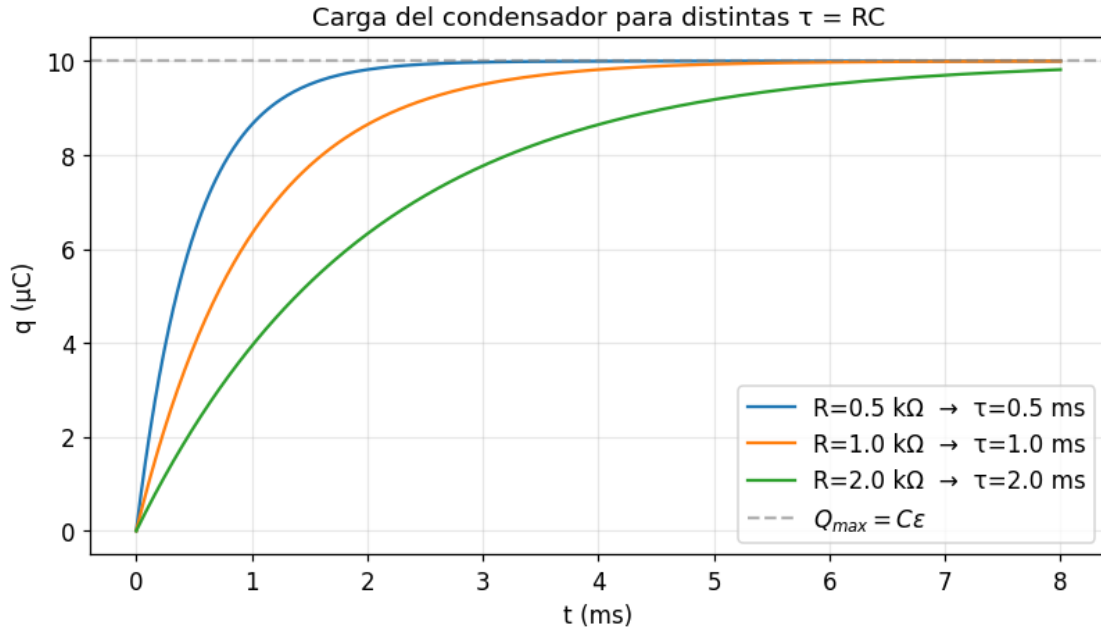
Con $\varepsilon = 10 \text{ V}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ($\Rightarrow \tau = 1 \text{ ms}$) dibujamos $q(t)$ e $I(t)$ y marcamos los hitos en τ .

$$\tau = R \cdot C = 1.000 \text{ ms}$$

Circuito RC ($R=1 \text{ k}\Omega$, $C=1 \text{ }\mu\text{F}$, $\tau=1 \text{ ms}$, $\varepsilon=10 \text{ V}$)



Comparación: efecto de τ sobre la carga Misma ε y C , distintas $R \rightarrow$ distintas τ . A mayor τ , más lento se carga.



1.9 8. Errores típicos de examen

- **Confundir I con J .** I (A) atraviesa una superficie; J (A/m²) es local. Relación: $I = \int \vec{J} \cdot d\vec{A}$.
- **Crear que “ley de Ohm” = $V = IR$.** $V = IR$ siempre define R ; la *ley* es que R sea constante (sólo en óhmicos).
- **Confundir R con ρ .** ρ es del material; $R = \rho L/A$ depende también de la geometría.
- **Sumar resistencias al revés.** Serie: se suman R . Paralelo: se suman $1/R$ (¡no las R !). En paralelo R_{eq} es *menor* que la más pequeña.
- **Olvidar la resistencia interna r .** Con carga, $V_{bornes} = \varepsilon - Ir < \varepsilon$. Sólo en circuito abierto $V = \varepsilon$.
- **Signos en Kirchhoff.** Recorrer una R a favor de $I \rightarrow -IR$; una batería de $-$ a $+$ $\rightarrow +\varepsilon$. Una I negativa significa “sentido contrario”, no error.
- **RC: confundir 63% y 37%.** Carga: alcanza 63% en τ . Descarga (o I de carga): cae al 37% en τ .
- **Tratar el condensador como cortocircuito en estacionario.** En continua y régimen estacionario, una rama con condensador lleva $I = 0$ (circuito abierto).

1.10 Resumen de fórmulas

$$I = \frac{dq}{dt} \quad J = nqv_d \quad I = JA \quad V = IR \quad R = \rho \frac{L}{A} \quad \rho = \rho_0[1 + \alpha \Delta T]$$

$$P = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad R_{serie} = \sum R_i \quad \frac{1}{R_{par}} = \sum \frac{1}{R_i}$$

$$V_{bornes} = \varepsilon - Ir \quad \tau = RC \quad q_{carga} = C\varepsilon(1 - e^{-t/\tau}) \quad q_{desc} = Q_0 e^{-t/\tau}$$