

BIBLIOTECA DE INGENIERÍA DAVID MILÁN

TEORÍA DE CIRCUITOS

VOLUMEN I

*Fundamentos, métodos de análisis y
circuitos de primer orden*

David Milán

DAVID MILÁN ACADEMY

Contenido

1. Introducción a las Magnitudes Eléctricas	1
1.1. Carga y Corriente: El flujo de la electrónica	1
1.2. Tensión: La fuerza impulsora	2
1.3. Potencia y la Convención Pasiva de Signos	3
1.4. La Ley de Ohm	4
1.5. Problemas Resueltos	5
1.6. Problemas Propuestos	8
1.7. Test de Autoevaluación	9
1.8. Mapa Conceptual del Capítulo	11
 2. Métodos de Análisis de Circuitos	 13
2.1. Leyes de Kirchhoff: Los Pilares del Análisis	13
2.2. El Método de Nodos (Análisis Nodal)	15
2.3. El Caso Especial: Supernodos	19
2.4. El Método de Mallas (Análisis de Lazos)	22
2.5. El Caso Especial: Supermallas	25
2.6. Problemas Propuestos	28
2.7. Test de Autoevaluación	29
 3. Circuitos de Primer Orden (RC y RL)	 31
3.1. El Condensador: Energía en el Campo Eléctrico	31
3.2. El Inductor: Energía en el Campo Magnético	33
3.3. La Respuesta Transitoria	34
3.4. Problemas Resueltos	36
3.5. Problemas Propuestos	39
3.6. Test de Autoevaluación	40

Métodos de Análisis de Circuitos

🎯 Objetivo

Al finalizar este capítulo serás capaz de:

- Comprender las Leyes de Kirchhoff como manifestaciones directas de la conservación de la carga y la energía.
- Sistematizar la resolución de circuitos mediante el Método de Nodos y el Método de Mallas.
- Pasar de resolver circuitos de forma intuitiva a modelarlos de forma matricial, tal como lo haría un software de simulación comercial (ej. SPICE).

🏢 Aplicación industrial

En la industria eléctrica, los sistemas de distribución de alta tensión se modelan mediante matrices con miles de nodos interconectados. Los algoritmos de "Flujo de Carga" (*Load Flow*) que calculan si una línea se sobrecargará o si su tensión caerá fuera de la norma, tienen en su núcleo matemático más básico el Método de Nodos que aprenderás en este capítulo.

2.1 Leyes de Kirchhoff: Los Pilares del Análisis

Si la Ley de Ohm nos describe cómo se comporta un componente aislado, las **Leyes de Kirchhoff** dictan cómo se comportan esos componentes cuando los conectamos entre sí. Fueron postuladas por el físico Gustav Kirchhoff en 1845 y

no son más que la aplicación a la electrónica de dos principios universales de la física.

2.1.1 1. Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK)

La intuición: Imagina una rotonda de tráfico sin semáforos. Es evidente que el número de coches que entra a la rotonda por minuto tiene que ser exactamente igual al número de coches que sale de ella. Si entraran más de los que salen, los coches se apilarían indefinidamente; si salieran más, se crearían de la nada.

La física: En un circuito eléctrico, los electrones no pueden .acumularse. en un punto de conexión (nodo) ni pueden desaparecer. Este principio se conoce como la **Conservación de la carga**.

Las matemáticas: La suma algebraica de todas las corrientes que entran y salen de un nodo es igual a cero en todo instante de tiempo.

$$\sum_{k=1}^N i_k = 0 \quad (2.1)$$



Consejo del ingeniero

Para aplicar la LCK sin equivocarte, asume una regla de signos estricta y mantenla en todo el problema. La convención habitual en ingeniería es: las corrientes que **entran** al nodo se consideran positivas (+), y las que **salen** negativas (-).

2.1.2 2. Ley de Tensiones de Kirchhoff (LTK)

La intuición: Imagina que vas a hacer una ruta de senderismo circular. Subes una montaña, bajas a un valle, subes otra colina y finalmente regresas a tu coche en el punto de partida. Si sumas todas las elevaciones que has ganado y restas todas las que has bajado, el cambio neto de altitud es exactamente cero.

La física: La tensión es energía por unidad de carga. Si una carga da una vuelta completa a una trayectoria cerrada en un circuito (malla) y vuelve a su posición original, no ha ganado ni perdido energía neta. Esto es la **Conservación de la energía**.

Las matemáticas: La suma algebraica de todas las caídas y subidas de tensión a lo largo de cualquier trayectoria cerrada es cero.

$$\sum_{k=1}^M v_k = 0 \quad (2.2)$$

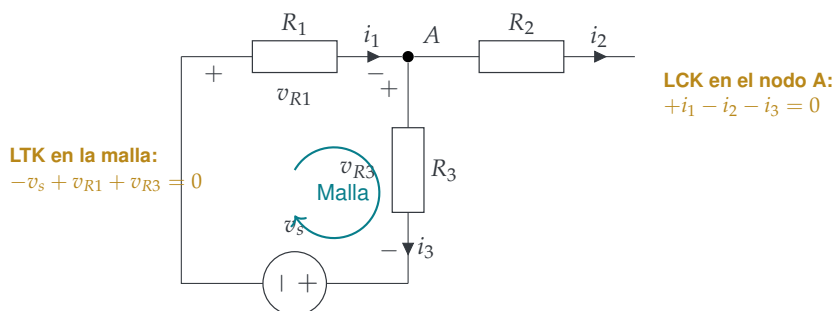


Figura 2.1: Aplicación de la LCK en un nodo central (conservación de carga) y la LTK en una malla (conservación de energía).

⚠ Error frecuente

El error número uno en los exámenes universitarios es equivocarse con los signos al recorrer una malla en la LTK. **Regla de oro de los ingenieros:** Elige un sentido de giro para analizar (por ejemplo, horario). Si al recorrer un componente te chocas primero con su terminal positivo, anota la tensión como $+v$. Si te chocas primero con el negativo, anótala como $-v$. Aplícalo como un autómatas y nunca fallarás.

2.2 El Método de Nodos (Análisis Nodal)

2.2.1 1. La intuición: Medir desde el campamento base

Imagina que eres un topógrafo midiendo montañas. En lugar de medir la diferencia de altura entre cada pico de forma independiente (lo cual sería un caos), estableces un campamento base.^a nivel del mar y lo llamas 0 metros. A partir de ahí, mides la altura de todos los picos respecto a ese único punto.

En los circuitos hacemos exactamente lo mismo. En lugar de buscar las tensiones relativas en cada resistencia, elegimos un nodo del circuito como nuestro "campamento base" (la Tierra o *Ground*, con 0 V) y calculamos la tensión del resto de nodos respecto a él. A estas tensiones las llamamos **Tensiones de Nodo**.

2.2.2 2. La física y las matemáticas

El Método de Nodos es la aplicación sistemática de la **Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK)** combinada con la **Ley de Ohm**.

Si un circuito tiene N nodos, siempre habrá un nodo de referencia (0 V). Por tanto, nos quedan $N - 1$ nodos con tensiones desconocidas. Esto significa que

necesitamos plantear exactamente un sistema de $N - 1$ ecuaciones linealmente independientes para resolver cualquier circuito, sin importar lo grande que sea.

Para expresar las corrientes en función de las tensiones de nodo, aplicamos la Ley de Ohm generalizada para cualquier rama resistiva que conecte un Nodo A y un Nodo B:

$$i_{A \rightarrow B} = \frac{v_A - v_B}{R} \quad (2.3)$$



Piensa como un ingeniero

El truco definitivo para plantear las ecuaciones nodales:

Al analizar un nodo x , asume SIEMPRE que todas las corrientes desconocidas **salen** de ese nodo hacia los demás. Esto hace que la tensión del nodo v_x siempre sea el término positivo en el numerador ($v_x - v_{otro}$). Si el resultado final de la corriente da negativo, simplemente significa que la corriente, en realidad, entraba. Las matemáticas se corrigen solas.

2.2.3 3. Algoritmo de Resolución Sistemática

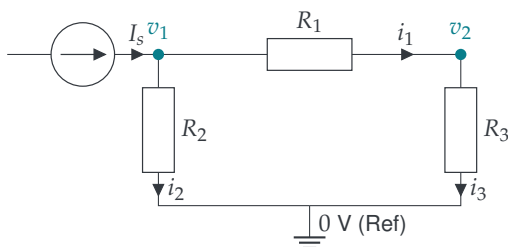
Para que un ordenador (o un estudiante de ingeniería en un examen) resuelva un circuito por nudos, debe seguir estrictamente estos 4 pasos:

1. **Identificar nodos y referencia:** Marca todos los nodos principales (donde se unen 3 o más ramas). Elige uno como referencia ($GND = 0\text{ V}$), preferiblemente el que tenga más conexiones.
2. **Asignar variables:** Asigna tensiones desconocidas ($v_1, v_2, \dots, v_n$) a los $N - 1$ nodos restantes.
3. **Aplicar LCK:** En cada nodo desconocido, iguala a cero la suma de corrientes que salen. Expresa dichas corrientes usando la diferencia de tensiones dividida por la resistencia.
4. **Resolver el sistema:** Ordena las ecuaciones y resuelve el sistema algebraico o matricial.



Error frecuente

Un error catastrófico es olvidar restar la tensión del nodo de destino. Si estás en el nodo 1 analizando la corriente que va hacia el nodo 2, el



Ecuación en el nodo v_1 :

$$-I_s + i_1 + i_2 = 0$$

Sustituyendo por Ohm:

$$-I_s + \frac{v_1 - v_2}{R_1} + \frac{v_1 - 0}{R_2} = 0$$

Figura 2.2: Planteamiento del Método de Nodos. Asumimos que las corrientes i_1 e i_2 salen del nodo v_1 .

numerador es $(v_1 - v_2)$. No escribas solo v_1 , porque la corriente depende de la *diferencia* de potencial entre ambos extremos de la resistencia.

Ejemplo 2.1: Análisis Nodal y Formulación Matricial

Enunciado

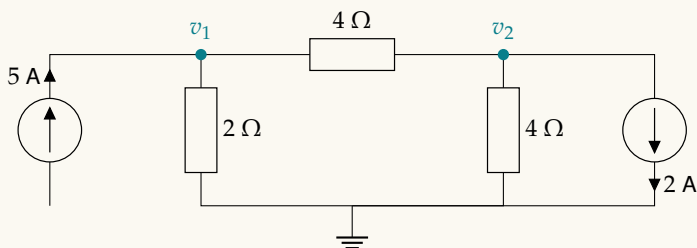
Dado el circuito de la figura, compuesto por dos fuentes de corriente independientes y tres resistores, determine las tensiones en los nodos principales utilizando el Método de Nodos. Posteriormente, exprese el sistema de ecuaciones en forma matricial $[G][V] = [I]$.

Datos

Fuentes de corriente: $I_1 = 5 \text{ A}$ (entrando al nodo 1), $I_2 = 2 \text{ A}$ (saliendo del nodo 2).

Resistencias: $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 4 \Omega$.

Figura



Planteamiento

Identificamos 3 nodos en total. Tomamos el nodo inferior como referencia (0 V), dejándonos 2 nodos desconocidos (v_1 y v_2). Aplicaremos la Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK) en cada uno, asumiendo (por convenio)

que las corrientes en las ramas resistivas **salen** del nodo que estamos analizando.

Resolución paso a paso

Paso 1: Ecuación para el Nodo 1.

La corriente de 5 A entra al nodo (signo negativo). Las corrientes por las resistencias de $2\ \Omega$ y $4\ \Omega$ salen (signo positivo).

$$-5 + \frac{v_1 - 0}{2} + \frac{v_1 - v_2}{4} = 0 \quad (2.4)$$

Multiplicamos todo por 4 para eliminar denominadores:

$$-20 + 2v_1 + (v_1 - v_2) = 0 \implies 3v_1 - v_2 = 20 \quad (\text{Ecuación 1}) \quad (2.5)$$

Paso 2: Ecuación para el Nodo 2.

La corriente de 2 A sale del nodo (signo positivo). Las corrientes por las resistencias de $4\ \Omega$ se consideran saliendo.

$$\frac{v_2 - v_1}{4} + \frac{v_2 - 0}{4} + 2 = 0 \quad (2.6)$$

Multiplicamos todo por 4:

$$(v_2 - v_1) + v_2 + 8 = 0 \implies -v_1 + 2v_2 = -8 \quad (\text{Ecuación 2}) \quad (2.7)$$

Paso 3: Formulación matricial y cálculo.

Expresamos primero el sistema en su forma física $[G][V] = [I]$, donde G es la matriz de conductancias:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{2} + \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} \\ -\frac{1}{4} & \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ -2 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Multiplicando ambas ecuaciones por 4 obtenemos el sistema equivalente, más cómodo para operar:

$$\begin{bmatrix} 3 & -1 \\ -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 \\ -8 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Resolviendo el sistema (por ejemplo, despejando $v_1 = 2v_2 + 8$ en la Ec. 2 y sustituyendo en la Ec. 1):

$$3(2v_2 + 8) - v_2 = 20 \implies 5v_2 = -4 \implies v_2 = -0,8\text{ V} \quad (2.10)$$

$$v_1 = 2(-0,8) + 8 = 6,4\text{ V} \quad (2.11)$$

Comprobación

Comprobamos la LCK en el nodo 1 con los resultados obtenidos: ¿Es la suma de las corrientes que salen igual a las que entran? La corriente que baja por R_1 es $6,4/2 = 3,2$ A. La corriente que va hacia la derecha por R_2 es $(6,4 - (-0,8))/4 = 1,8$ A. Suma de corrientes que salen: $3,2 + 1,8 = 5,0$ A. La corriente que entra es 5 A. El resultado es perfectamente correcto.

Conclusión

El Método de Nodos permite extraer directamente las ecuaciones de un circuito. La matriz de conductancias resultante es siempre simétrica respecto a la diagonal principal si el circuito solo contiene resistencias y fuentes independientes, una propiedad matemática que los ingenieros utilizan para verificar que no han cometido errores al plantear las ecuaciones.

2.3 El Caso Especial: Supernodos

2.3.1 1. El problema: El eslabón perdido de la corriente

Al aplicar el Método de Nodos, expresamos todas las corrientes en función de las tensiones usando la Ley de Ohm ($i = v/R$). Pero, ¿qué ocurre si entre dos nodos desconocidos hay conectada una **fente de tensión ideal** sin ninguna resistencia en serie?

Sabemos la tensión que aporta esa fuente, pero **no sabemos qué corriente la atraviesa** (la corriente de una fuente de tensión ideal está determinada por el resto del circuito, no por sí misma). Como no podemos aplicar la Ley de Ohm en esa rama, el método de nodos tradicional se bloquea.

2.3.2 2. La solución: El Supernodo



Idea clave

Un **supernodo** se forma al englobar una fuente de tensión (dependiente o independiente) conectada entre dos nodos no de referencia, junto con cualquier elemento conectado en paralelo a ella, tratándolos conceptualmente como si fueran un único gran nodo.

La física nos respalda: la Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK) no solo funciona para un punto infinitamente pequeño, sino para **cualquier frontera cerrada**

Circuitos de Primer Orden (RC y RL)

Objetivo

Al finalizar este capítulo serás capaz de:

- Entender físicamente cómo un condensador almacena energía en forma de campo eléctrico y una bobina en forma de campo magnético.
- Comprender el concepto de "inercia eléctrica": por qué la tensión en un condensador y la corriente en un inductor no pueden cambiar instantáneamente.
- Modelar y resolver el comportamiento transitorio (carga y descarga) de circuitos de primer orden utilizando ecuaciones diferenciales de forma intuitiva.

Aplicación industrial

El retraso intencionado en la respuesta de un circuito es fundamental en la industria. Desde el circuito RC que determina el tiempo que los limpiaparabrisas de tu coche tardan en hacer un barrido, hasta los enormes bancos de condensadores e inductores que filtran el ruido en las redes de alta tensión de los parques eólicos, todo se rige por la dinámica de los circuitos de primer orden.

3.1 El Condensador: Energía en el Campo Eléctrico

Hasta ahora hemos trabajado con resistencias, elementos que *disipan* la energía en forma de calor. Ahora introducimos componentes que la *almacenan*.

3.1.1 1. La intuición: El tanque de agua

Imagina un depósito de agua. Si abres una manguera de golpe para llenarlo, el nivel del agua (la tensión) no salta instantáneamente al máximo. El tanque necesita tiempo para llenarse a medida que entra el caudal de agua (la corriente). De igual modo, si abres el desagüe, el tanque no se vacía en cero segundos.

3.1.2 2. La física: Placas y dieléctricos

Un **condensador** o **capacitor** (C) está formado por dos placas metálicas conductoras separadas por un material aislante (dieléctrico). Cuando conectamos una batería, los electrones se acumulan en una placa (cargándola negativamente) y abandonan la otra (cargándola positivamente).

Como el aislante impide que los electrones crucen de una placa a la otra, se genera un **campo eléctrico** entre ellas. Es en este campo invisible donde el condensador almacena su energía eléctrica.

3.1.3 3. Las matemáticas

La cantidad de carga (q) que un condensador puede almacenar es directamente proporcional a la tensión (v) aplicada entre sus placas. La constante de proporcionalidad es la **Capacidad** (C), medida en **Faradios** (**F**).

$$q = C \cdot v \quad (3.1)$$

Si derivamos esta expresión con respecto al tiempo, recordando que la corriente es la variación de la carga en el tiempo ($i = dq/dt$), obtenemos la ecuación fundamental del condensador:

$$i = C \frac{dv}{dt} \quad (3.2)$$



Idea clave

El Principio de Continuidad de la Tensión:

Observa la ecuación $i = C \frac{dv}{dt}$. Si quisiéramos que la tensión cambiara instantáneamente (un salto vertical en tiempo cero, $dt \rightarrow 0$), necesitaríamos una corriente infinita ($i \rightarrow \infty$). Como en la vida real no existen corrientes infinitas, **la tensión en un condensador NUNCA puede cambiar de forma instantánea**. Su transición siempre es gradual.

3.2 El Inductor: Energía en el Campo Magnético

3.2.1 1. La intuición: El volante de inercia

Imagina una rueda metálica pesadísima montada en un eje (un volante de inercia). Si intentas hacerla girar con la mano, te costará mucho esfuerzo que coja velocidad, ya que se opone al cambio. Pero una vez que está girando a toda velocidad, si intentas pararla de golpe, la fuerza acumulada puede romperte el brazo.

La bobina hace exactamente lo mismo, pero con la corriente eléctrica. Se opone radicalmente a cualquier intento de cambiar la cantidad de electrones que fluyen por ella.

3.2.2 2. La física: Espiras y electromagnetismo

Un **inductor** o **bobina** (L) es simplemente un hilo conductor enrollado en forma de espiral. Cuando una corriente lo atraviesa, genera un **campo magnético** a su alrededor.

Si intentamos cambiar esa corriente (aumentarla o disminuirla abruptamente), el campo magnético cambia. Por la **Ley de Lenz**, este cambio induce una fuerza electromotriz (tensión) en la propia bobina que *se opone* al cambio original que la provocó.

3.2.3 3. Las matemáticas

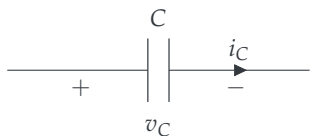
La tensión inducida (v) en los extremos de un inductor es directamente proporcional a la velocidad a la que cambia la corriente que lo atraviesa. La constante de proporcionalidad es la **Inductancia** (L), medida en **Henrios** (**H**).

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (3.3)$$

Error frecuente

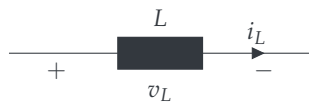
Es muy tentador pensar que si apagas un interruptor de un circuito, la corriente cae a cero al instante. Pero la ecuación $v = L \frac{di}{dt}$ nos advierte: si fuerzas a la corriente a cambiar instantáneamente ($dt \rightarrow 0$), la bobina generará una tensión infinita ($v \rightarrow \infty$). En la realidad industrial, esa tensión gigantesca ioniza el aire, creando una chispa o arco eléctrico a través del interruptor. Por eso **la corriente en un inductor NUNCA puede cambiar de forma instantánea**.

Condensador (C)



Almacena energía en
campo eléctrico.
 $v_C(t^-) = v_C(t^+)$

Inductor (L)



Almacena energía en
campo magnético.
 $i_L(t^-) = i_L(t^+)$

Figura 3.1: Modelos ideales de los elementos almacenadores de energía y sus leyes de continuidad de conmutación.



Piensa como un ingeniero

Comportamiento en Corriente Continua (Régimen Permanente):

En un circuito de corriente continua (DC) que lleva mucho tiempo conectado a una batería constante, los valores se estabilizan y nada cambia con el tiempo. Es decir, las derivadas son cero ($dv/dt = 0$ y $di/dt = 0$). ¿Qué implica esto?

- Para el condensador: $i = C(0) = 0$. Al no pasar corriente, se comporta como un **circuito abierto**.
- Para la bobina: $v = L(0) = 0$. Al no haber caída de tensión, se comporta como un **cortocircuito** (un cable perfecto).

Saber esto te permitirá simplificar brutalmente los circuitos antes de aplicar cualquier ecuación diferencial.

3.3 La Respuesta Transitoria

3.3.1 1. La intuición: El periodo de adaptación

Cuando enciendes la calefacción de una habitación fría, la temperatura no salta a 22°C de forma instantánea. Hay un periodo en el que la temperatura va subiendo gradualmente hasta estabilizarse. A ese periodo de adaptación entre un estado inicial y un estado final lo llamamos **régimen transitorio**. Una vez que se estabiliza, decimos que ha entrado en **régimen permanente**.

En los circuitos eléctricos, los cambios (como abrir o cerrar un interruptor) obligan a los condensadores y bobinas a reajustar su energía almacenada, creando este mismo efecto de transición en las tensiones y corrientes.

3.3.2 2. La constante de tiempo (τ)

¿Cuánto tarda el circuito en adaptarse al nuevo estado? Depende de la "fricción" (Resistencia) y de la inercia" (Capacidad o Inductancia) del sistema. Esta velocidad de adaptación se mide mediante la **Constante de Tiempo (τ , letra griega tau)**, medida en segundos.

- Para un circuito RC: $\tau = R_{eq} \cdot C$
- Para un circuito RL: $\tau = \frac{L}{R_{eq}}$

Físicamente, τ es el tiempo que tarda la variable (tensión o corriente) en alcanzar el 63,2 % de su cambio total.



Consejo del ingeniero

La regla de los 5 Tau:

En ingeniería, asumimos matemáticamente que el periodo transitorio termina cuando han transcurrido 5τ . En ese momento, la variable ha alcanzado el 99,3 % de su valor final y consideramos que el circuito ha entrado en régimen permanente (estado estacionario).

3.3.3 3. La Ecuación Universal de Primer Orden

La resolución matemática rigurosa de estos circuitos requiere plantear una Ecuación Diferencial Ordinaria (EDO) de primer orden. Sin embargo, como el comportamiento en circuitos lineales siempre sigue una curva exponencial, los ingenieros utilizamos una **fórmula universal** que resuelve cualquier variable $x(t)$ (ya sea tensión o corriente) para cualquier $t \geq 0$:

$$x(t) = x(\infty) + [x(0^+) - x(\infty)] e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3.4)$$

Donde:

- $x(0^+)$ es el valor inicial de la variable justo un instante después de conmutar el interruptor.
- $x(\infty)$ es el valor final de la variable si dejáramos pasar un tiempo infinito (régimen permanente).
- τ es la constante de tiempo del circuito tras el cambio.

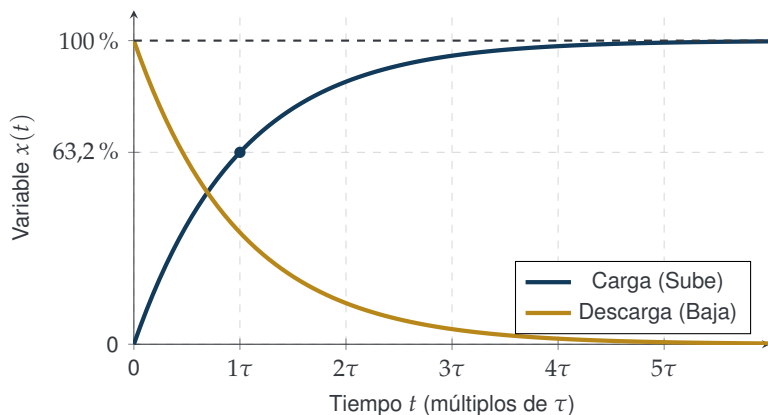


Figura 3.2: Curvas exponenciales normalizadas. Observa cómo a partir de $t = 5\tau$ el valor es prácticamente constante.

3.4 Problemas Resueltos

Ejemplo 3.1: Circuito RC con conmutador

Enunciado

En el circuito de la figura, el interruptor ha estado cerrado durante mucho tiempo. En el instante $t = 0$, el interruptor se abre. Determine la expresión matemática de la tensión en el condensador $v_C(t)$ para $t \geq 0$.

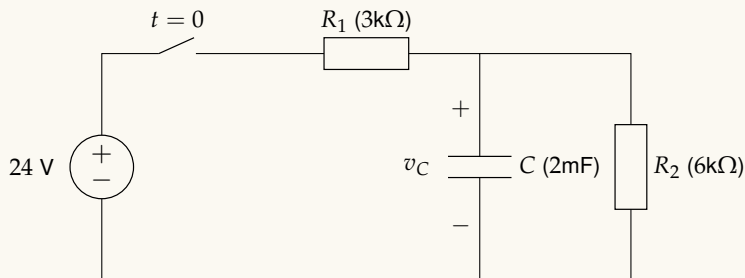
Datos

Fuente de tensión: 24 V.

Resistencias: $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 6 \text{ k}\Omega$.

Condensador: $C = 2 \text{ mF}$.

Figura



Planteamiento

Aplicaremos la Ecuación Universal de Primer Orden. Para ello, nece-

sitamos calcular sistemáticamente tres parámetros: la condición inicial $v_C(0^+)$, la condición final $v_C(\infty)$ y la constante de tiempo τ tras la apertura del interruptor.

Resolución paso a paso

Paso 1: Análisis en $t = 0^-$ (antes de abrir el interruptor).

Como el interruptor lleva cerrado mucho tiempo, el circuito está en régimen permanente de corriente continua. El condensador se comporta como un **circuito abierto**. La tensión v_C será la misma que la tensión en R_2 . Aplicando un divisor de tensión:

$$v_C(0^-) = 24 \text{ V} \cdot \frac{6 \text{ k}\Omega}{3 \text{ k}\Omega + 6 \text{ k}\Omega} = 24 \cdot \frac{6}{9} = 16 \text{ V} \quad (3.5)$$

Por el Principio de Continuidad, la tensión en el condensador no puede cambiar instantáneamente: $v_C(0^+) = v_C(0^-) = 16 \text{ V}$.

Paso 2: Análisis en $t \rightarrow \infty$ (después de abrir el interruptor).

Al abrir el interruptor, la fuente de 24 V y R_1 quedan desconectadas del condensador. El circuito se reduce a C conectado en paralelo con R_2 . Con el tiempo infinito, el condensador descargará toda su energía a través de la resistencia R_2 convirtiéndola en calor. Por tanto, la condición final es: $v_C(\infty) = 0 \text{ V}$.

Paso 3: Cálculo de la constante de tiempo (τ).

Para $t > 0$ (interruptor abierto), la única resistencia conectada en los terminales del condensador es $R_2 = 6 \text{ k}\Omega$.

$$\tau = R_{eq} \cdot C = (6 \times 10^3 \Omega) \cdot (2 \times 10^{-3} \text{ F}) = 12 \text{ s} \quad (3.6)$$

Paso 4: Sustitución en la Ecuación Universal.

$$v_C(t) = v_C(\infty) + [v_C(0^+) - v_C(\infty)] e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3.7)$$

$$v_C(t) = 0 + [16 - 0] e^{-\frac{t}{12}} = 16e^{-\frac{t}{12}} \text{ V}, \quad \text{para } t \geq 0 \quad (3.8)$$

Comprobación

Si evaluamos $t = 0$ en la fórmula obtenemos $16e^0 = 16 \text{ V}$, que cuadra con nuestra condición inicial. Si evaluamos $t \rightarrow \infty$, $e^{-\infty} = 0$, que cuadra con nuestra condición final de descarga completa.

Conclusión

El condensador actúa como una batería temporal para R_2 . El proceso de descarga será prácticamente completo (ha perdido el 99,3 % de su tensión) cuando transcurran $5\tau = 60$ segundos.

Gracias por leer esta muestra

Teoría de Circuitos - Volumen I

Has visto una selección del método David Milán:
intuición física, modelo matemático y aplicación práctica.

En la edición completa encontrarás

- Desarrollo completo de todos los capítulos.
- Ejemplos resueltos paso a paso y sin saltos.
- Problemas propuestos por niveles de dificultad.
- Diagramas, mapas conceptuales y aplicaciones reales.
- Test de autoevaluación para comprobar tu progreso.

*"Mi objetivo no es solo que apruebes,
sino que comprendas la ingeniería de verdad."*

DAVID MILÁN PAZ



CONTINÚA APRENDIENDO

Consigue el libro completo

Libros, cursos, ejercicios y recursos académicos

DavidMilanAcademy.com