


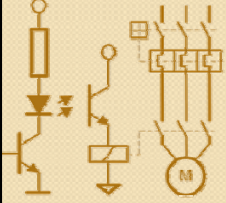



Electrotecnia y
Electrónica


dfests 

Francisco A. Candelas

TEMA I: EL CIRCUITO ELÉCTRICO DE CORRIENTE CONTINUA



 Francisco Andrés Candelas Herías
Colaboración de Alberto Seva Follana
Grupo de Innovación Educativa en Automática



Contenido

1. Conceptos básicos de electricidad.
2. Corriente eléctrica y circuito eléctrico.
3. Ley de Ohm y resistencia eléctrica.
4. Circuitos AC y circuitos DC.
5. Fuentes de alimentación.
6. Energía y potencia; Ley de Joule.
7. Circuitos con resistencias.
8. Análisis de circuitos.
9. Condensadores.
10. Bobinas.

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

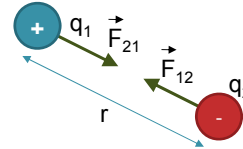
2

I. Conceptos básicos de electricidad

• Ley de Coulomb

- Dos cargas eléctricas puntuales q_1 y q_2 ejercen una a la otra una fuerza F :

$$|\vec{F}| = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad \left[N = K \frac{C \cdot C}{m^2} \right]$$



- K depende del medio donde están las cargas. Para el vacío, $K=K_0$. Para otros medios se considera la constante dieléctrica ϵ .

$$K_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \quad K = \frac{K_0}{\epsilon} \quad \left[= \frac{N \cdot m^2}{C^2} \right]$$

Medio	ϵ
vacío	1
aire	1,0006
mica	4-5
vidrio	6-6
agua	81

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

3

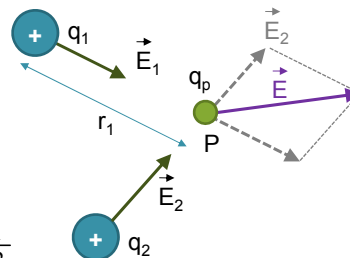
I. Conceptos básicos de electricidad

• Campo eléctrico

- Es la región del espacio en cuyos puntos existen fuerzas debidas a la presencia de cargas eléctricas.
- Intensidad de campo eléctrico (E): Fuerza que se ejerce sobre una carga q de valor unidad en un punto P del campo.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \left[\frac{V}{m} = \frac{N}{C} \right]$$

$$|\vec{E}_1| = \frac{|\vec{F}_{1p}|}{q_p} = K \frac{q_1 \cdot q_p}{r_1^2 \cdot q_p} = K \frac{q_1}{r_1^2}$$



TI: El circuito eléctrico en corriente continua

4

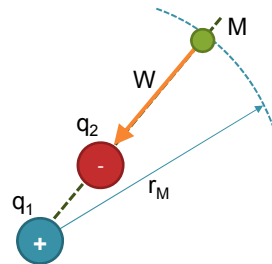
I. Conceptos básicos de electricidad

- Potencial eléctrico

- Representa el trabajo necesario, por unidad de carga, para mover una carga q_2 desde un punto M hasta el origen del campo q_1 .
- Es la energía potencial de la carga q_2 en M , y se mide en voltios.

$$U_M = \frac{W}{q_2} = \frac{F \cdot r}{q_2} = K \frac{q_1}{r_M}$$

$$\left[V = \frac{N \cdot m}{C} \right]$$



TI: El circuito eléctrico en corriente continua

5

I. Conceptos básicos de electricidad

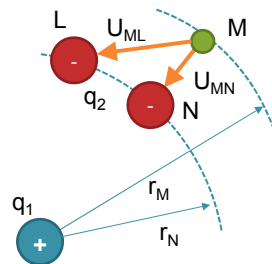
- Potencial eléctrico

- La diferencia de potencial entre dos puntos M y N de un campo eléctrico es el trabajo necesario para mover una carga q_2 desde un punto al otro ($M \rightarrow N$ ó $N \rightarrow M$).
- Diferencia de potencial = tensión eléctrica.

$$U_{MN} = K \frac{q_1}{r_M} - K \frac{q_1}{r_N} =$$

$$= K \cdot q_1 \left(\frac{1}{r_M} - \frac{1}{r_N} \right) [= V]$$

$$r_L = r_N \Rightarrow U_{ML} = U_{MN}$$



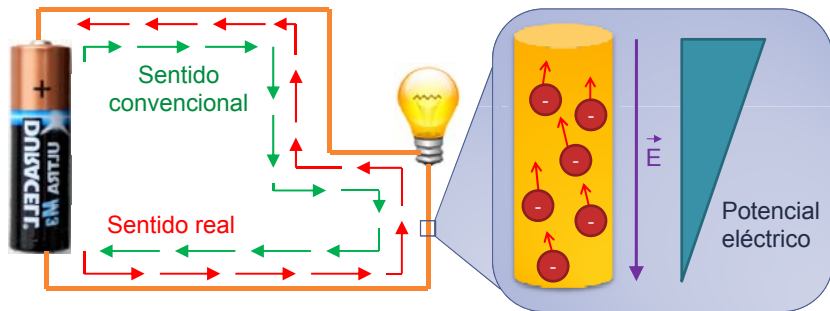
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

6

2. Corriente eléctrica y circuito eléctrico

- Corriente eléctrica

- Es el movimiento de cargas en un medio (conductor, semiconductor, electrolito o gas) que está bajo la acción de un campo eléctrico.
- Circuito eléctrico: conjunto de elementos que forma un recorrido cerrado por donde circula la corriente.



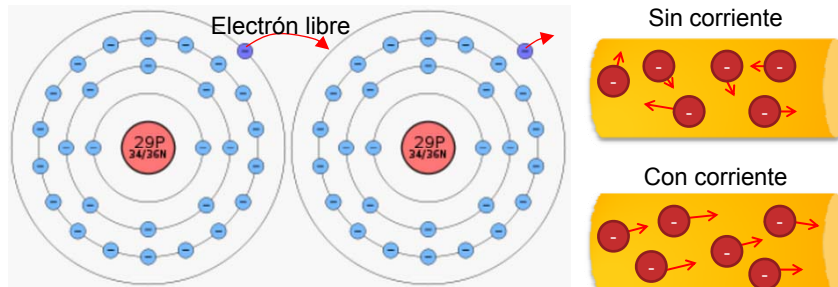
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

7

2. Corriente eléctrica y circuito eléctrico

- Corriente eléctrica

- Un conductor tiene una orbita de valencia con un solo electrón. Un buen conductor tiene ese electrón muy alejado del núcleo (electrón libre), y puede fácilmente saltar a otro átomo vecino que perdió el electrón.



Átomos de cobre (29P, 29E, 34/36N)

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

8

2. Corriente eléctrica y circuito eléctrico

- Intensidad de corriente

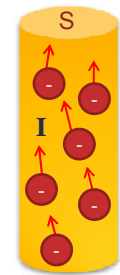
- Cantidad de carga que circula por un conductor, sometido a una diferencia de potencial, en una unidad de tiempo.

$$I = \frac{q}{t} \quad i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad \left[A = \frac{C}{s} \right]$$

- Densidad de corriente

- Mide la capacidad de un conductor para transportar corriente sin sobrecalentarse.

$$J = \frac{I}{S} \quad \left[= \frac{A}{mm^2} \right]$$



Conductor

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

9

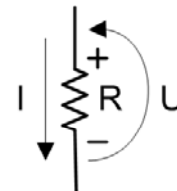
3. Ley de Ohm y resistencia eléctrica

- Ley de Ohm

- La intensidad de corriente (I) que circula por un conductor metálico es proporcional a la diferencia de potencial (U) entre sus extremos, e inversamente proporcional a la resistencia (R) que ofrece al paso de la corriente.

$$I = \frac{U}{R} \quad i(t) = \frac{u(t)}{R} \quad \left[A = \frac{V}{\Omega} \right]$$

- La resistencia se mide en Ohmios (Ω).



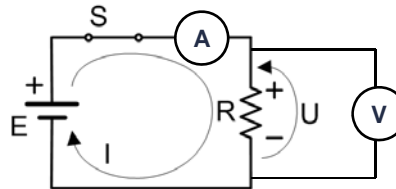
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

10

3. Ley de Ohm y resistencia eléctrica

- Circuito eléctrico con receptor resistivo
 - Una fuente produce una energía potencial (trabajo por unidad de carga) llamada fuerza electromotriz (E).
 - Un receptor resistivo (R) se opone al paso de la corriente y transforma la energía eléctrica en calor.
 - Los conductores, con resistencia muy pequeña y despreciable frente al receptor, unen los elementos.
 - En el receptor hay una tensión eléctrica (U) que es el trabajo por unidad de carga aplicado sobre él.

$$E = U = R \cdot I$$



TI: El circuito eléctrico en corriente continua

11

3. Ley de Ohm y resistencia eléctrica

- Resistencia eléctrica
 - En un conductor metálico, depende de su longitud (L), sección transversal (S) y resistividad (ρ).

$$R = \rho \frac{L}{S} \left[\Omega = \Omega \cdot \text{m} \frac{\text{m}}{\text{m}^2} \right]$$



- La resistencia también puede variar con la temperatura, humedad, luz... En conductores y elementos resistivos se considera constante.

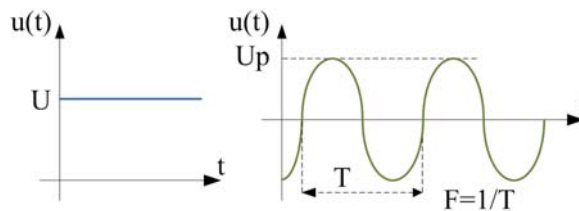
Material	ρ para 20-25°C ($\Omega \cdot \text{m}$)
plata	$1,47 \cdot 10^{-8}$
cobre	$1,71 \cdot 10^{-8}$
oro	$2,22 \cdot 10^{-8}$
aluminio	$2,82 \cdot 10^{-8}$
hierro	$9,71 \cdot 10^{-8}$
estaño	$11,5 \cdot 10^{-8}$
acero inox.	$72 \cdot 10^{-8}$
carbón	$3.500 \cdot 10^{-8}$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

12

4. Circuitos AC y circuitos DC

- Corriente continua (CC-DC)
 - Las fuentes de energía de un circuito generan una tensión constante, que NO varía con el tiempo.
 - En este tema estudiamos este tipo de circuito.
- Corriente alterna (CA-AC)
 - Las fuentes de energía de un circuito producen una tensión cuya magnitud y dirección varían cíclicamente con el tiempo. Se suele utilizar ondas senoidales.

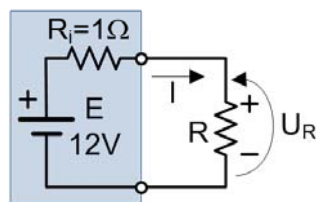


TI: El circuito eléctrico en corriente continua

13

5. Fuentes de alimentación de CC

- Fuentes de tensión de CC
 - Son elementos capaces de mantener una diferencia de potencial (tensión) en sus bornes, independientemente de la corriente que necesite el circuito.
 - En la práctica no hay fuentes ideales. Las fuentes no pueden mantener la tensión para cualquier corriente:
 - Hay un límite de intensidad máxima.
 - Hay una resistencia interna.



$$R = 10\text{K}\Omega \rightarrow \begin{cases} I = 12\text{V}/10.001\Omega = 1,19988\text{mA} \\ U_R = 10.000\Omega \cdot 0,119988\text{mA} = 11,9988\text{V} \end{cases}$$

$$R = 100\Omega \rightarrow \begin{cases} I = 12\text{V}/101\Omega = 0,11881\text{A} \\ U_R = 100\Omega \cdot 0,11881\text{A} = 11,881\text{V} \end{cases}$$

$$R = 10\Omega \rightarrow \begin{cases} I = 12\text{V}/11\Omega = 1,091\text{A} \\ U_R = 10\Omega \cdot 1,091\text{A} = 10,911\text{V} \end{cases}$$

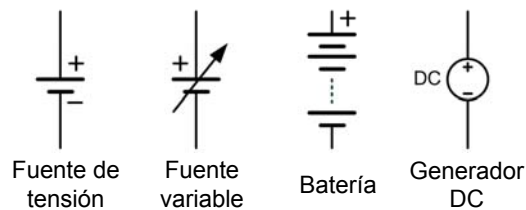
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

14

5. Fuentes de alimentación de CC

• Fuentes de tensión de CC

- Se caracterizan por:
 - Tensión o rango de tensión que suministran.
 - Corriente máxima de salida.
 - Resistencia interna ($0.01-1\Omega$).
- Tipos: generadores, acumuladores, fotocélulas semiconductoras, circuitos electrónicos...
- Símbolos:



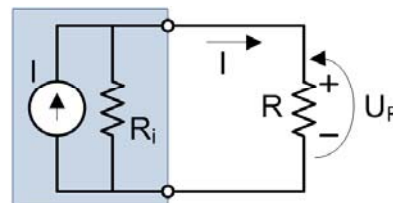
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

15

5. Fuentes de alimentación de CC

• Fuentes de corriente de CC

- Proporciona una corriente constante a un circuito, independientemente del valor de la resistencia.
- Menos comunes que las de tensión
 - Se usan en aplicaciones muy concretas.
- Se basan en circuitos con semiconductores.
- Se caracterizan por:
 - Intensidad de corriente que suministran (mA- μ A).
 - Resistencia interna (muy alta: $M\Omega$)



TI: El circuito eléctrico en corriente continua

16

6. Energía y potencia; Ley de Joule

• Energía eléctrica

- Es el trabajo eléctrico (W) consumido y se mide en Julios:

$$\left. \begin{array}{l} U_{MN} = W/q \\ I = q/t \end{array} \right\} \Rightarrow W = U_{MN} \cdot I \cdot t \quad [J = V \cdot C = V \cdot A \cdot s]$$

• Potencia de la corriente eléctrica

- Es el trabajo eléctrico por unidad de tiempo y se mide en vatios (W):

$$P = \frac{W}{t} \quad \left[W = \frac{J}{s} \right] \Rightarrow P = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I = R \cdot I^2$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

17

6. Energía y potencia; Ley de Joule

• Efecto Joule

- En un conductor metálico, la fricción de los electrones con los átomos del conductor provoca un aumento de temperatura u la liberación de calor.
- La ley de Joule mide el calor producido y define que:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad [J = \Omega \cdot A \cdot s]$$

- La energía eléctrica (W) aplicada a una resistencia conductora (no a un filamento luminoso) se transforma íntegramente en calor:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t = U \cdot I \cdot t = W$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

18

6. Energía y potencia; Ley de Joule

- Otras medidas de energía eléctrica:
 - La caloría: $1\text{J} = 0,24\text{cal}$, $1\text{cal} = 4,18\text{J}$
 - Kilovatio-hora: $1\text{KWh} = 1.000\text{W} \cdot 3.600\text{s} = 3.600.000\text{J}$.
- Otras medidas de potencia eléctrica:
 - Caballo de vapor: $1\text{CV} = 735,49875\text{W} \approx 735\text{ W}$



7. Circuitos con resistencias

- Resistencia como componente:
 - Elemento que ofrece una resistencia a la corriente en un circuito y transforma la energía eléctrica en calor.
 - Utilidades: Iluminación, calentamiento, controlar tensiones y corrientes en un circuito, y sensores.
- Caracterización:
 - Valor resistivo en ohmios (Ω).
 - Potencia máxima en vatios (W).
 - Tolerancia del valor en %.
- Tipos:
 - Fijas, variables lineales, y variables no lineales.



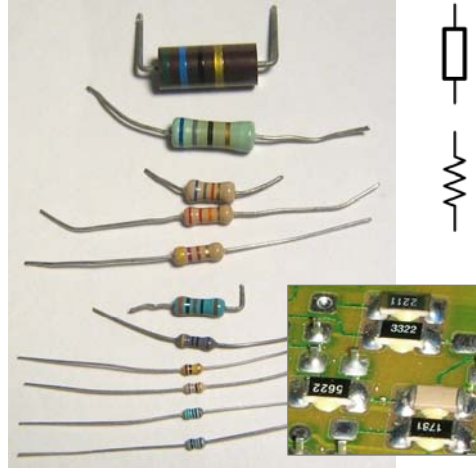
7. Circuitos con resistencias

- Tipos de resistencias



Lámpara incandescente

Resistencia calefactora



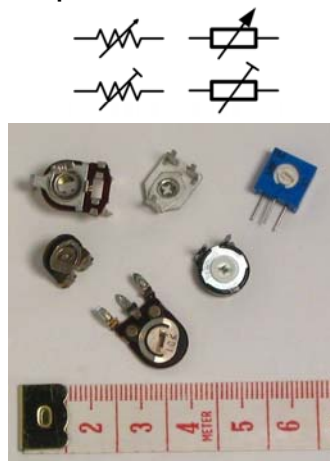
Resistencias para circuitos (0,1-1W)

21

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

7. Circuitos con resistencias

- Tipos de resistencias



Resistencias ajustables



Potenciómetro



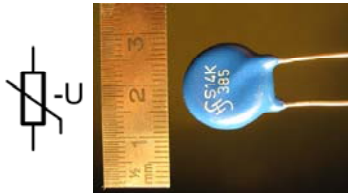
Resistencias bobinadas y de potencia (1-100W)

22

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

7. Circuitos con resistencias

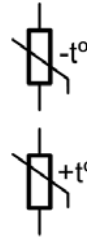
- Tipos de resistencias



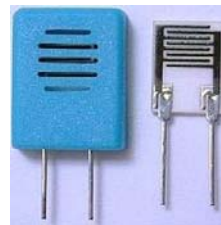
Varistor o VDR (Voltage Dependent Resistor)



LDR (Light-Dependent Resistor)



Termistores
NTC (Negative Temperature Coefficient)
PTC (Positive Temperature Coefficient)



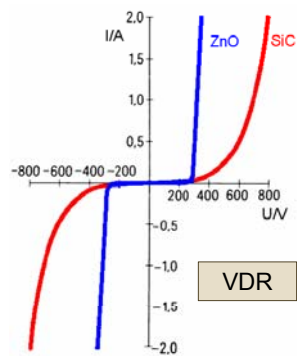
Sensor RH (Humedad relativa)

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

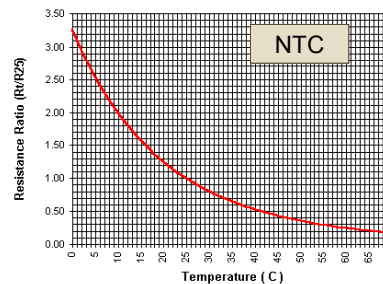
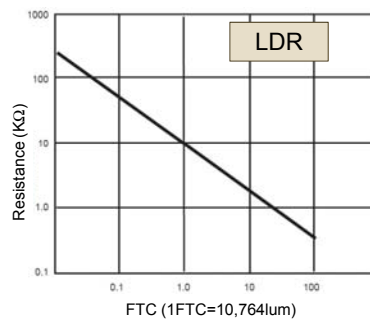
23

7. Circuitos con resistencias

- Curvas de respuesta



La VDR es un semiconductor y se comporta como tal. No se le puede aplicar la Ley de Ohm.



TI: El circuito eléctrico en corriente continua

24

7. Circuitos con resistencias

- Código de bandas de colores
 - Usado también para otros componentes

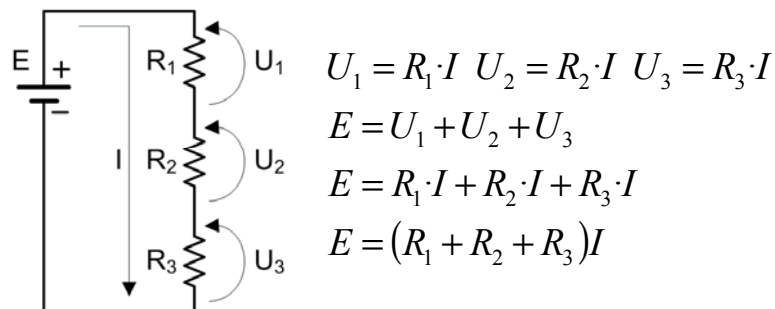
Color	Banda de cifra	Banda del multiplicador	Banda de tolerancia
NEGRO	0	$10^0 = 1$	
MARRON	1	$10^1 = 10$	$\pm 1\%$
ROJO	2	$10^2 = 100$	$\pm 2\%$
NARANJA	3	$10^3 = 1.000$	
AMARILLO	4	$10^4 = 10.000$	$\pm 4\%$
VERDE	5	$10^5 = 100.000$	$\pm 0,5\%$
AZUL	6	$10^6 = 1.000.000$	$\pm 0,25\%$
VIOLETA	7	$10^7 = 10.000.000$	$+ 0,1\%$
GRIS	8	$10^8 = 100.000.000$	$\pm 0,05\%$
BLANCO	9	$10^9 = 1.000.000.000$	
DORADO		$10^{-1} = 0,1$	$\pm 5\%$
PLATEADO		$10^{-2} = 0,01$	$\pm 10\%$
Ninguno			$\pm 20\%$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

25

7. Circuitos con resistencias

- Conexión de varias resistencias en serie
 - La tensión de la fuente (E) se reparte entre las resistencias.
 - La corriente total del circuito (I) es común a todas las resistencias.

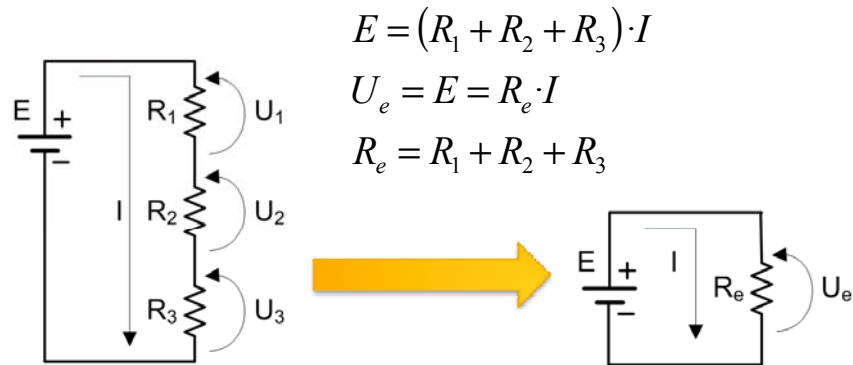


TI: El circuito eléctrico en corriente continua

26

7. Circuitos con resistencias

- Conexión de varias resistencias en serie
 - Se puede calcular la resistencia equivalente R_e que simplifica el circuito.

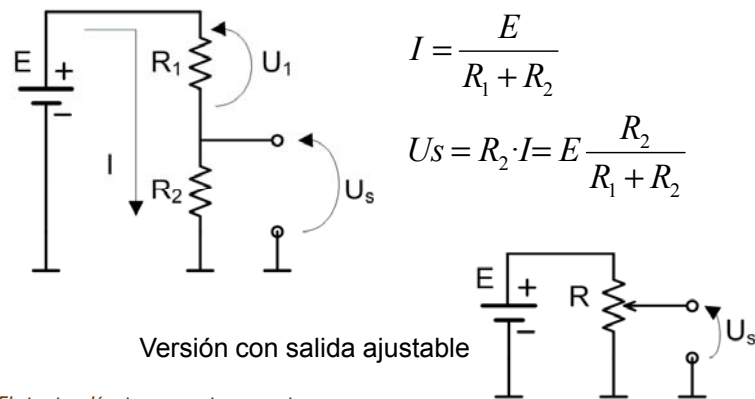


TI: El circuito eléctrico en corriente continua

27

7. Circuitos con resistencias

- Divisor de tensión
 - Caso particular de la conexión en serie.
 - Se usa habitualmente para obtener fracciones de la tensión de la fuente de alimentación.



TI: El circuito eléctrico en corriente continua

28

7. Circuitos con resistencias

- Asociación de resistencias en paralelo
 - Todas las resistencias están sometidas a la misma tensión (U), que es la de la fuente (E).
 - La corriente total del circuito (I) se divide entre las resistencias.

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad U = E$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = \frac{U_e}{R_e}$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua 29

7. Circuitos con resistencias

- Conversión triángulo-estrella

Conexión en triángulo
 Δ

$$R_{AB} = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_C}$$

$$R_{AC} = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_B}$$

$$R_{BC} = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_A}$$

Conexión en estrella
Y

$$R_A = \frac{R_{AB} R_{AC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}}$$

$$R_B = \frac{R_{AB} R_{BC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}}$$

$$R_C = \frac{R_{AC} R_{BC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}}$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua 30

8. Análisis de circuitos

- Leyes de Kirchhoff

- Se aplican sobre un circuito complejo para generar de forma metódica un sistema de ecuaciones lineales que, al resolverlo, proporciona el valor de todas las intensidades del circuito.
- Conociendo todas las intensidades se pueden determinar todas las diferencias de potencial.
- Sirve para circuitos CC y CA, con fuentes constantes o variables.
- También para circuitos que contienen bobinas y condensadores.

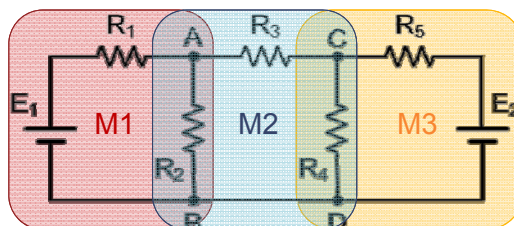
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

31

8. Análisis de circuitos

- Leyes de Kirchhoff

- Un circuito se estructura en:
 - **Nudos.** Puntos donde se unen más de dos componentes: A, B, C y D.
 - **Ramas.** Tramos comprendidos entre dos nudos consecutivos: AB por R_1 y E_1 , AB por R_2 , AC, BD, CD, etc.
 - **Mallas.** Camino cerrado que parte y llega a un mismo nudo sin pasar dos veces por la misma rama: M1, M2, M3...



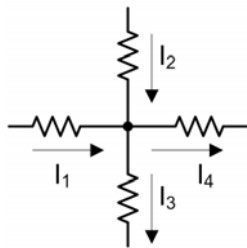
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

32

8. Análisis de circuitos

• Leyes de Kirchhoff

- 1ª Ley: Regla de nudos o de corrientes.
 - La suma de las intensidades de corriente que entran en un nodo es igual a la suma de intensidades que salen de él.
 - Normalmente no se conocen los valores ni sentidos de las corrientes, y el sentido se toma de forma arbitraria.



$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

33

8. Análisis de circuitos

• Leyes de Kirchhoff

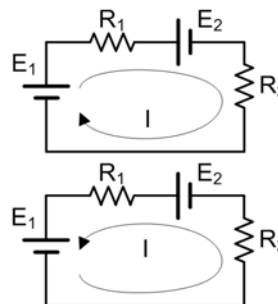
- 2ª Ley: Regla de mallas o de tensiones.
 - La suma de las tensiones (diferencias de potencial) en una malla es igual a la suma de fuerzas electromotrices de las fuentes en esa malla.
 - Los signos se toman en función del sentido en que se recorre la malla y de las corrientes. Por ejemplo, en sentido horario:

$$E_1 - E_2 = U_1 + U_2$$

$$E_1 - R_1 I - E_2 - R_2 I = 0$$

$$E_1 - E_2 = -U_1 - U_2$$

$$E_1 + R_1 I - E_2 + R_2 I = 0$$

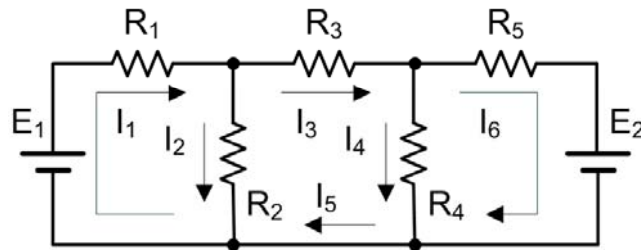


TI: El circuito eléctrico en corriente continua

34

8. Análisis de circuitos

- Resolución a partir de nudos y mallas



NUDOS

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 - I_3 &= 0 \\ I_2 - I_1 + I_5 &= 0 \\ I_3 - I_4 - I_6 &= 0 \\ I_4 - I_5 + I_6 &= 0 \end{aligned}$$

MALLAS

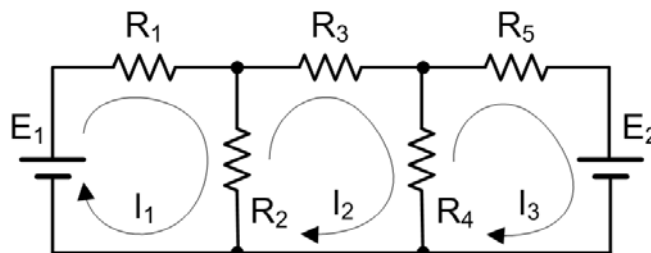
$$\begin{aligned} E_1 - R_1 I_1 - R_2 I_2 &= 0 \\ -R_3 I_3 - R_4 I_4 + R_2 I_2 &= 0 \\ -R_5 I_6 - E_2 + R_4 I_4 &= 0 \\ E_1 - R_1 I_1 - R_3 I_3 - R_5 I_6 - E_2 &= 0 \end{aligned}$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

35

8. Análisis de circuitos

- Resolución con el método de mallas



$$\begin{aligned} E_1 &= R_1 I_1 + R_2 (I_1 - I_2) & (R_1 + R_2) I_1 - R_2 I_2 &= E_1 \\ 0 &= R_2 (I_2 - I_1) + R_3 I_2 + R_4 (I_2 - I_3) & -R_2 I_1 + (R_2 + R_3 + R_4) I_2 - R_4 I_3 &= 0 \\ -E_2 &= R_5 I_3 + R_4 (I_3 - I_2) & -R_4 I_2 + (R_4 + R_5) I_3 &= -E_2 \end{aligned}$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

36

8. Análisis de circuitos

- Resolución con el método de mallas

- Expresión matricial del sistema de ecuaciones:

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 & -R_2 & 0 \\ -R_2 & R_2 + R_3 + R_4 & -R_4 \\ 0 & -R_4 & R_4 + R_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ 0 \\ -E_2 \end{bmatrix}$$

- Solución por la regla de Cramer:

$$DR = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} \quad I_2 = \frac{1}{DR} \begin{vmatrix} R_{11} & E_1 & R_{13} \\ R_{21} & 0 & R_{23} \\ R_{31} & -E_2 & R_{33} \end{vmatrix}$$

$$I_1 = \frac{1}{DR} \begin{vmatrix} E_1 & R_{12} & R_{13} \\ 0 & R_{22} & R_{23} \\ -E_2 & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} \quad I_3 = \frac{1}{DR} \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & E_1 \\ R_{21} & R_{22} & 0 \\ R_{31} & R_{32} & -E_2 \end{vmatrix}$$

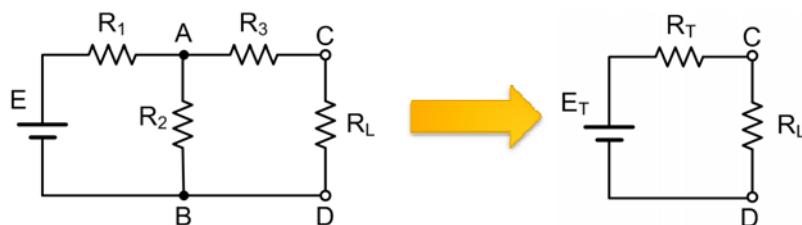
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

37

8. Análisis de circuitos

- Teorema de Thevenin

- Permite simplificar un circuito a uno equivalente desde el punto de vista de una resistencia de carga (R_L).
- Muy útil para circuitos con varias mallas, donde interesa conocer el efecto en un resistencia de carga, pero no todo el funcionamiento interno del circuito.



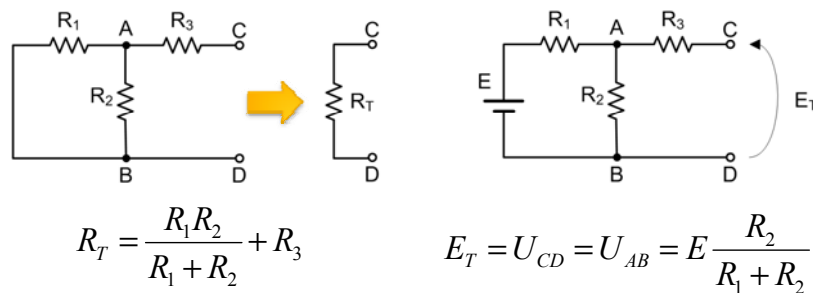
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

38

8. Análisis de circuitos

• Teorema de Thevenin

- Resistencia de Thevenin (R_T): Se quita R_L , se puentean las fuentes, y se calcula la resistencia entre los bornes de R_L (C y D).
- Tensión de Thevenin (E_T): Se quita R_L , y se calcula la tensión entre los bornes de R_L (C y D).



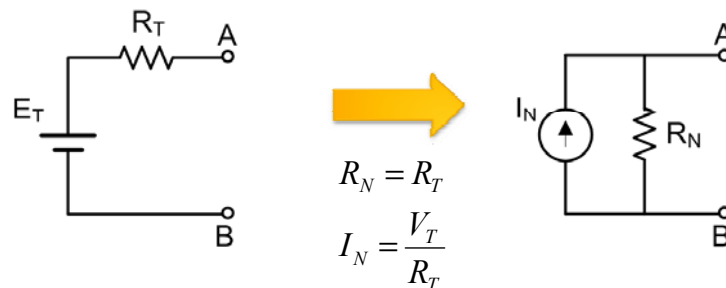
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

39

8. Análisis de circuitos

• Teorema de Norton

- Un circuito de Thevenin se puede sustituir por otro equivalente con una fuente de corriente ideal (I_N) en paralelo con una resistencia (R_N):
 - I_N se calcula cortocircuitando los terminales de la carga R_L .
 - R_N es igual a la resistencia de Thevenin R_T .



TI: El circuito eléctrico en corriente continua

40

Contenido

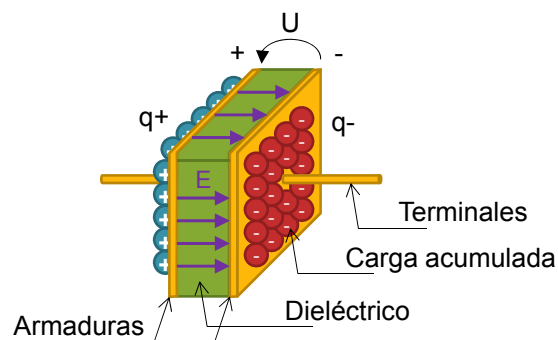
1. Conceptos básicos de electricidad.
2. Corriente eléctrica y circuito eléctrico.
3. Ley de Ohm y resistencia eléctrica.
4. Circuitos AC y circuitos DC.
5. Fuentes de alimentación.
6. Energía y potencia; Ley de Joule.
7. Circuitos con resistencias.
8. Análisis de circuitos.
9. Condensadores.
10. Bobinas.

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

41

9. Condensadores

- Un condensador almacena carga eléctrica a un determinado potencial para su uso posterior.
 - Estructura: dos conductores (armaduras) muy próximos, y separados por un aislante (dieléctrico).
 - No hay circula corriente entre las armaduras.



TI: El circuito eléctrico en corriente continua

42

9. Condensadores

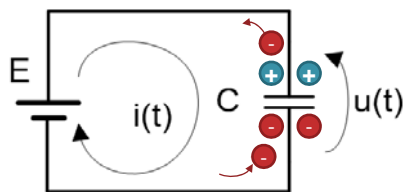
- La carga acumulada depende de la diferencia de potencial entre las armaduras.
 - La relación entre la carga que se puede almacenar (q) y la tensión necesaria (U) es la capacidad (C):
 - La capacidad se mide en Faradios (F)
 - En la práctica, 1F es una unidad muy grande, y se emplean μF (10^{-6}), nF (10^{-9}) y pF (10^{-12}).
 - Si la tensión entre armaduras es superior a U_{max} , las cargas atraviesan el dieléctrico mediante un arco.
 - Un condensador se caracteriza por C y U_{max} .

$$C = \frac{q}{U} \quad C = \frac{q(t)}{u(t)} \quad \left[\text{F} = \frac{\text{C}}{\text{V}} \right]$$

43

9. Condensadores

- El condensador en un circuito eléctrico
 - Aunque por el condensador no pasa corriente, el desplazamiento de cargas puede provocar corriente en un circuito $i(t)$.
 - Si $u(t)=U$ (constante) $\rightarrow i(t)=0$
 - Con un cambio brusco de $u(t) \rightarrow i(t)=\infty$ (no es real)



$$C \cdot u(t) = q(t), \quad i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt} \quad \left[\text{A} = \text{F} \frac{\text{V}}{\text{s}} \right]$$

$$du(t) = \frac{1}{C} i(t) dt \Rightarrow \int_{u(t_0)}^{u(t)} dx = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(t) d\tau \Rightarrow u(t) = U_0 + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(t) d\tau$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

44

Electrotecnia y Electrónica

9. Condensadores

- Tipos de condensadores
 - Electrolíticos. Con polaridad. $0,5\mu\text{F}$ - 50mF / 5V - 200V
 - Tántalo. Con polaridad. $0,1\mu\text{F}$ - $50\mu\text{F}$ / 5V - 50V




TI: El circuito eléctrico en corriente continua

47

Electrotecnia y Electrónica

9. Condensadores

- Tipos de condensadores
 - Variables o ajustables. 1pF - 100pF / 5V - 50V



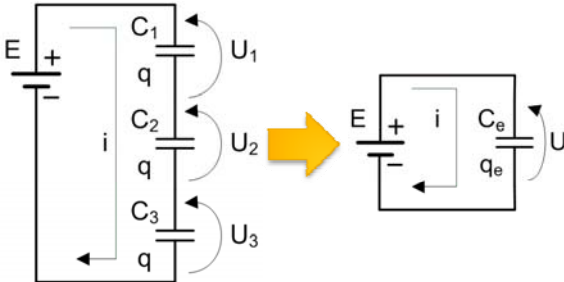

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

48

Electrotecnia y Electrónica

9. Condensadores

- **Asociación en serie de condensadores**
 - La tensión de la fuente (E) se reparte (U_1, U_2, U_3).
 - Todos los condensadores adquieren la misma carga (q).
 - La corriente que circula (i) es común.



$$E = U_1 + U_2 + U_3 = U_e$$

$$E = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} = \frac{q}{C_e}$$

$$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_e}$$

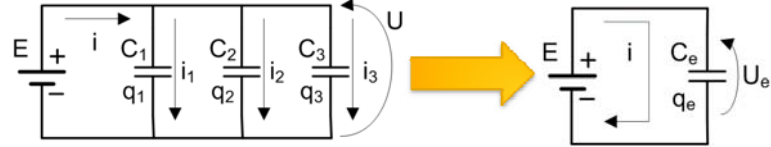
$$E = \frac{1}{C_1} \int_{t_0}^t i(t) d\tau + \frac{1}{C_2} \int_{t_0}^t i(t) d\tau + \frac{1}{C_3} \int_{t_0}^t i(t) d\tau = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) \int_{t_0}^t i(t) d\tau = U_e = \frac{1}{C_e} \int_{t_0}^t i(t) d\tau$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua 49

Electrotecnia y Electrónica

9. Condensadores

- **Asociación en paralelo de condensadores**
 - La tensión es igual para todos los condensadores (U).
 - La carga total (q_e) es la suma de las cargas (q_1, q_2, q_3).
 - La corriente (i) se reparte (i_1, i_2, i_3) entre los condensadores.



$$q_e = q_1 + q_2 + q_3 \Rightarrow UC_1 + UC_2 + UC_3 = UC_e$$

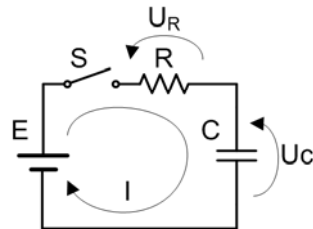
$$i(t) = i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) \Rightarrow C_1 + C_2 + C_3 = C_e$$

$$\Rightarrow C_e \frac{du(t)}{dt} = C_1 \frac{du(t)}{dt} + C_2 \frac{du(t)}{dt} + C_3 \frac{du(t)}{dt}$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua 50

9. Condensadores

- Circuito RC en CC en estado estacionario



$$E = U_R + U_C = R \cdot I + U_C$$

$$U_C = \frac{q}{C}$$

- Casos destacables:

$$\text{S se cierra en } t = 0 \Rightarrow q = 0 \Rightarrow U_C = 0 \Rightarrow E = R \cdot I \Rightarrow I = \frac{E}{R} = I_{\max}$$

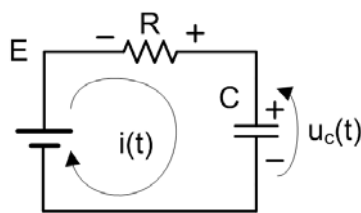
$$\text{S cerrado y } t \rightarrow \infty \Rightarrow U_C = E \Rightarrow \begin{cases} q = E \cdot C = q_{\max} \\ E = R \cdot I + E \Rightarrow I = 0 \end{cases}$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

51

9. Condensadores

- Proceso de carga en un circuito RC en CC



$$E = R \cdot i(t) + u_c(t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = RC \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) \Rightarrow$$

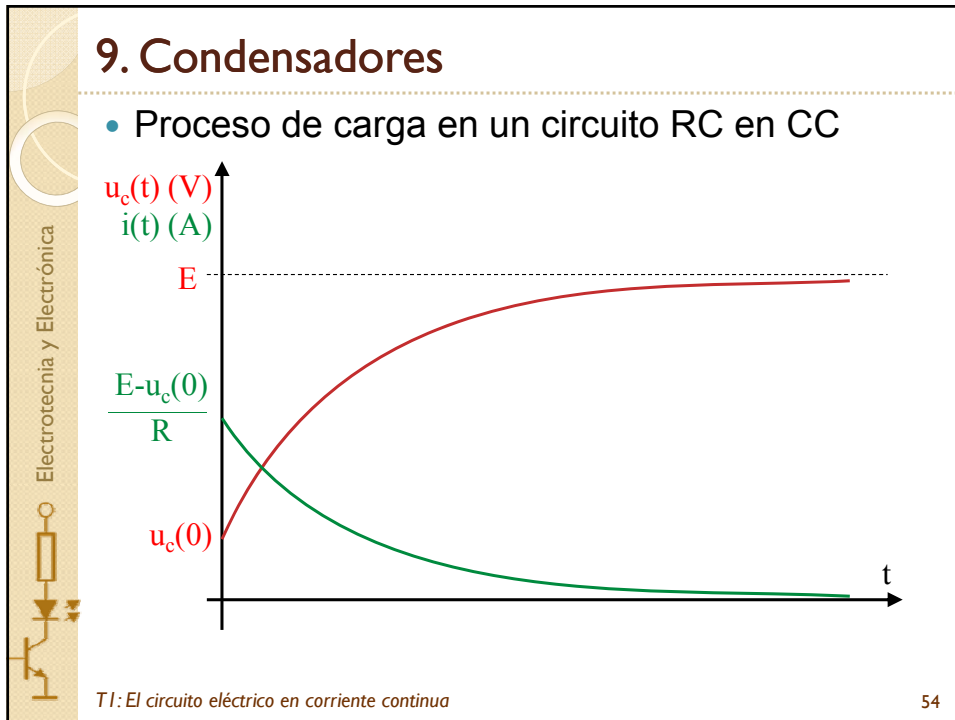
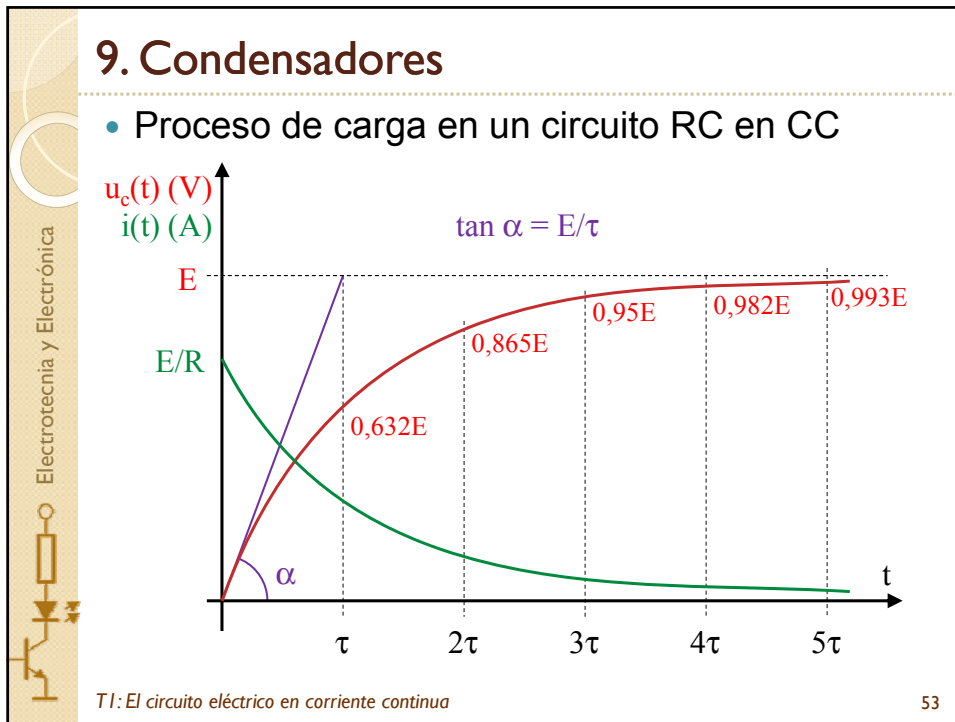
$$\frac{du_c(t)}{dt} + \frac{u_c(t)}{RC} = \frac{E}{RC} \quad (RC = \tau)$$

$$u_c(t) = E + (u_c(0) - E)e^{-t/RC} \quad u_c(0)=0 \Rightarrow u_c(t) = E - Ee^{-t/RC} = E(1 - e^{-t/\tau}) \quad t \geq 0$$

$$i(t) = \frac{E - u_c(t)}{R} = \frac{E - E + (u_c(0) - E)e^{-t/RC}}{R} \quad u_c(0)=0 \Rightarrow i(t) = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}$$

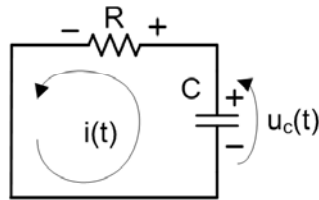
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

52



9. Condensadores

- Proceso de descarga en un circuito RC en CC



$$\left. \begin{aligned} u_c(t) &= R \cdot i(t) \\ i(t) &= -C \frac{du_c(t)}{dt} \end{aligned} \right\} \frac{u_c(t)}{R} = -C \frac{du_c(t)}{dt} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{du_c(t)}{dt} + \frac{u_c(t)}{RC} = 0 \quad (RC = \tau)$$

$$u_c(t) = u_c(0) e^{-t/RC} = u_c(0) e^{-t/\tau} \quad t \geq 0$$

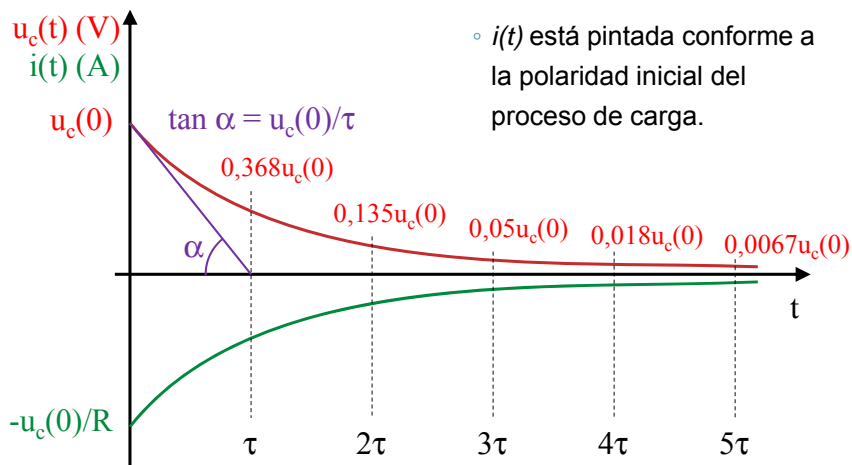
$$i(t) = -C \frac{du_c(t)}{dt} = C \frac{1}{RC} u_c(0) e^{-t/RC} = \frac{u_c(0)}{R} e^{-t/RC}$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

55

9. Condensadores

- Proceso de descarga en un circuito RC en CC



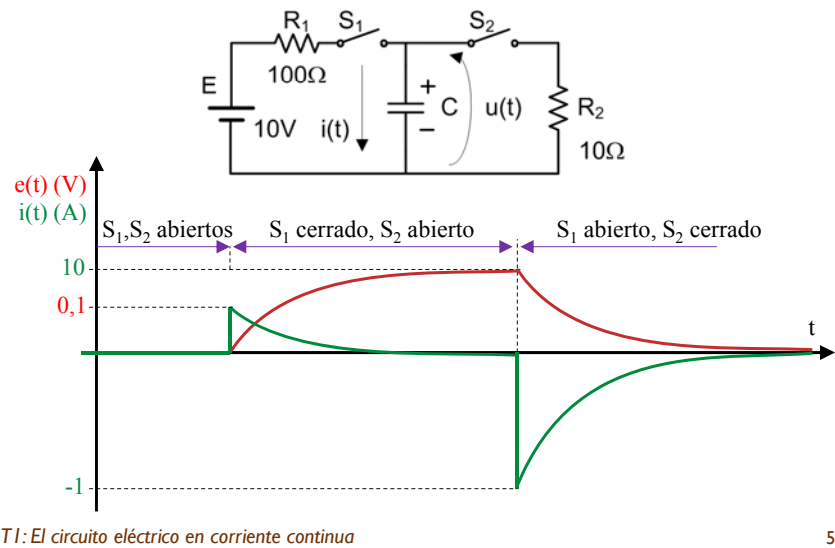
- $i(t)$ está pintada conforme a la polaridad inicial del proceso de carga.

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

56

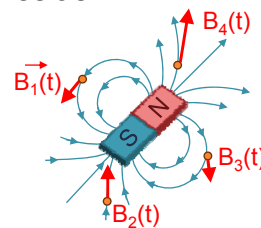
10. Condensadores

- Carga y descarga de un circuito RC en CC



10. Bobinas

- Campo magnético.
 - Es la región del espacio que agrupa los puntos donde existe una fuerza causada por la presencia de uno o varios imanes u otros dispositivos magnéticos
 - Se representa mediante las líneas de inducción.
 - La fuerza que ejerce un campo magnético en un punto determinado se define con la intensidad de campo magnético B , medida en Teslas.
 - B es una unidad vectorial.



TI: El circuito eléctrico en corriente continua

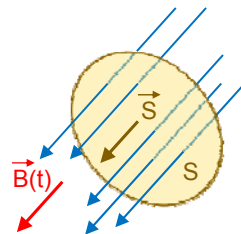
58

10. Bobinas

- Flujo magnético

- ϕ es una magnitud escalar que mide el número de líneas de inducción que atraviesan una superficie S .
- Se mide en Webers.

$$\phi(t) = \vec{B}(t) \cdot \vec{S} \quad [\text{Wb} = \text{T} \cdot \text{m}^2]$$



Si S es perpendicular a B : $\phi(t) = |\vec{B}(t)| \cdot S$

Si S forma un ángulo α con B : $\phi(t) = |\vec{B}(t)| \cdot S \cdot \cos \alpha$

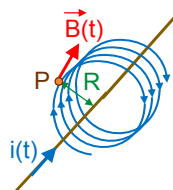
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

59

10. Bobinas

- Ley de Biot y Savart:

- El campo magnético $B(t)$ que un hilo crea en un punto P depende proporcionalmente de la corriente $i(t)$ que pasa por el hilo e inversamente proporcional a la distancia entre el punto y el hilo R .
- En P , el campo es perpendicular al plano que forman el hilo y P , y el sentido del campo corresponde al de un sacacorchos que avanza con la corriente.



$$|\vec{B}(t)| = \frac{\mu_0}{2\pi R} i(t) \quad \left[T = \frac{\text{T} \cdot \text{m} / \text{A}}{\text{m}} \text{A} \right]$$

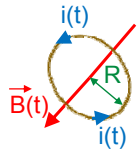
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

60

10. Bobinas

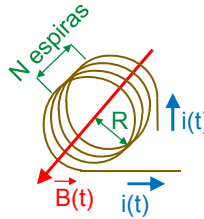
- La ley de Biot y Savart se puede extender a conductores circulares:

Una espira



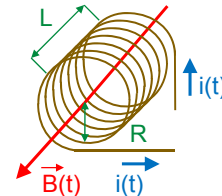
$$|\vec{B}(t)| = \frac{\mu_0}{2R} i(t)$$

Varias espiras:
bobina



$$|\vec{B}(t)| = N \frac{\mu_0}{2R} i(t)$$

Bobina con
muchas espiras y
 $L > 2R$: solenoide



$$|\vec{B}(t)| = N \frac{\mu_0}{L} i(t)$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

61

10. Bobinas

- Permeabilidad magnética (μ)
 - Representa la capacidad de un medio para absorber las líneas de fuerza del campo magnético.
 - Para el vacío o aire se define como:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$$

- Para otros medios se la permeabilidad magnética se determina en función de la permeabilidad relativa:

$$\mu = \mu_r \mu_0 \left\{ \begin{array}{l} \mu_r < 1 \ (\mu < \mu_0) \rightarrow \text{Sustancia diamagnética: fuerza débil de repulsión} \\ \mu_r \approx 1 \ (\mu \approx \mu_0) \rightarrow \text{Sustancia paramagnética: fuerza débil de atracción} \\ \mu_r \gg 1 \ (\mu \gg \mu_0) \rightarrow \text{Sustancia ferromagnética: fuerza fuerte de atracción} \end{array} \right.$$

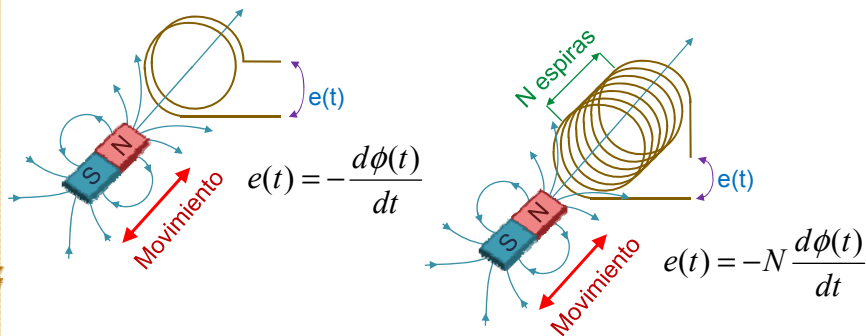
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

62

10. Bobinas

- Ley de Faraday

- La fuerza electromotriz (f.e.m.) $e(t)$ que se induce en un conductor cerrado y sin fuente de tensión propia depende del número de líneas de inducción (flujo) que atraviesan la superficie de dicho conductor.



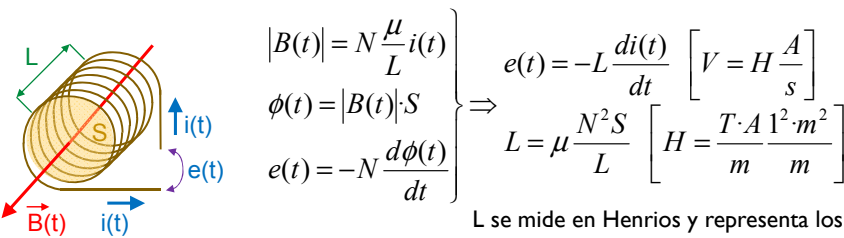
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

63

10. Bobinas

- Autoinducción magnética

- Si se hace circular una corriente $i(t)$ por un solenoide de longitud L , sección S y N espiras, se crea en su interior un campo magnético $B(t)$ con flujo variable $\phi(t)$.
- El flujo induce una f.e.m. $e(t)$ en los bornes de la bobina, que se puede expresar según la corriente $i(t)$ y el diseño de la bobina (coeficiente de autoinducción L).



L se mide en Henrys y representa los parámetros de diseño de la bobina

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

64

10. Bobinas

- Tipos de bobinas



UNSHIELDED SMD POWER INDUCTORS



SHIELDED SMD POWER INDUCTORS

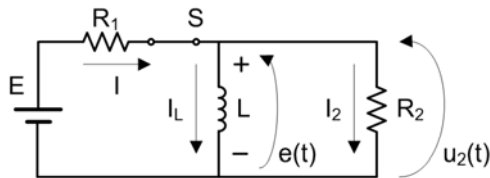


TI: El circuito eléctrico en corriente continua

65

10. Bobinas

- La bobina en un circuito eléctrico
 - Si la corriente que atraviesa una bobina es constante (S cerrado), la tensión en bordes de la bobina será 0, y la bobina actúa como un cortocircuito.
 - En la práctica, una bobina soporta una intensidad máxima.



$$e(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = L \frac{dI_L}{dt} = 0$$

$$e(t) = u_2(t) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_2 = 0 \Rightarrow I = I_L$$

$$I = \frac{E}{R_1}$$

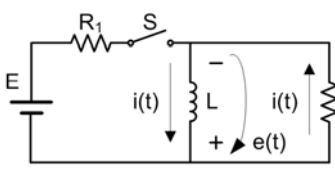
TI: El circuito eléctrico en corriente continua

66

Electrotecnia y Electrónica

10. Bobinas

- La bobina en un circuito eléctrico
 - Al abrir S se intenta forzar un cambio de corriente en el circuito que se crea un campo magnético en torno a la bobina. Ese campo inducirá f.e.m. en la bobina.
 - En la bobina no puede haber cambios instantáneos de corriente: la bobina mantiene la corriente en el instante posterior a abrir S, y luego la corriente disminuye.



$$e(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad i(0) = I_L = \frac{E}{R_1}$$

$$u_2(t) = -R_2 i(t)$$

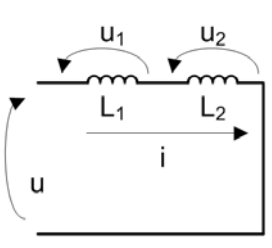
$$L i(t) dt = e(t) dt \Rightarrow L \int_{i(t_0)}^{i(t)} dx = \int_{t_0}^t e(t) d\tau \Rightarrow i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t e(t) d\tau + i(0)$$

T1: El circuito eléctrico en corriente continua 67

Electrotecnia y Electrónica

10. Bobinas

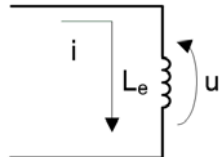
- Asociación en serie y en paralelo

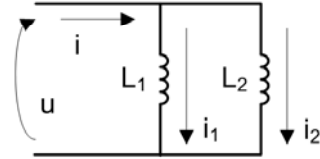


$$u = u_1 + u_2$$

$$L_e \frac{di}{dt} = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt}$$

$$L_e = L_1 + L_2$$





$$i = i_1 + i_2$$

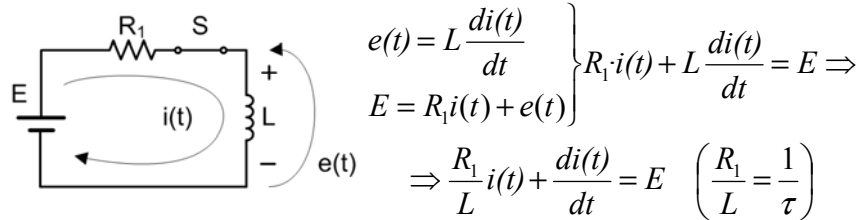
$$\frac{1}{L} \int_{t_0}^t e d\tau = \frac{1}{L_1} \int_{t_0}^t e d\tau + \frac{1}{L_2} \int_{t_0}^t e d\tau$$

$$\frac{1}{L} = \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \right)$$

T1: El circuito eléctrico en corriente continua 68

10. Bobinas

- Proceso de carga de un circuito RL en CC



$$i(t) = \frac{E}{R_1} + \left(i(0) - \frac{E}{R_1} \right) e^{-R_1 t / L} \Rightarrow i(t) = \frac{E}{R_1} \left(1 - e^{-R_1 t / L} \right) = \frac{E}{R_1} \left(1 - e^{-t/\tau} \right) \quad t > 0$$

$$e(t) = L \frac{di(t)}{dt} \Rightarrow e(t) = (E - R_1 i(0)) e^{-R_1 t / L} \Rightarrow e(t) = E e^{-t/\tau}$$

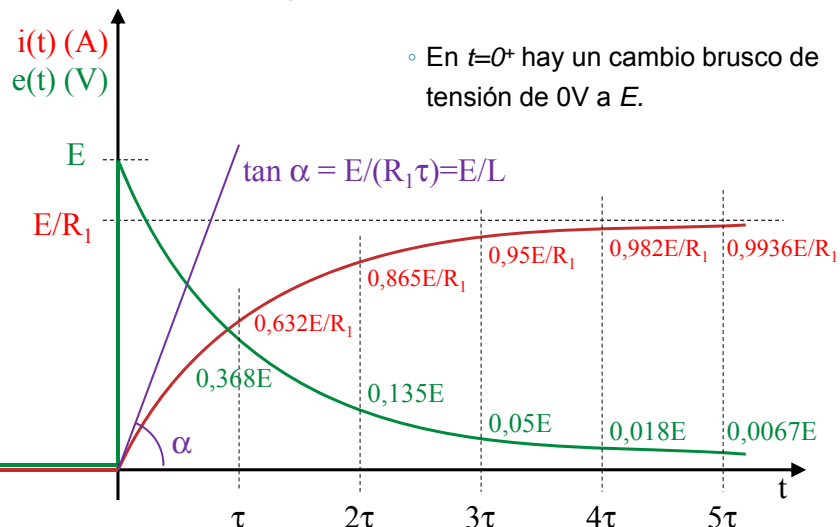
$$e(t) = E - R_1 i(t)$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

69

10. Bobinas

- Proceso de carga de un circuito RL en CC

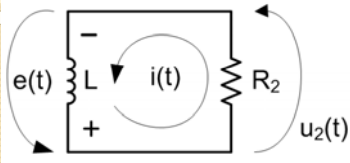


TI: El circuito eléctrico en corriente continua

70

10. Bobinas

- Proceso de descarga de un circuito RL en CC



$$\left. \begin{aligned} u_2(t) &= -R_2 \cdot i(t) \\ e(t) &= -L \frac{di(t)}{dt} \\ -e(t) &= -R_2 \cdot i(t) \end{aligned} \right\} R_2 \cdot i(t) + L \frac{di(t)}{dt} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{R_2}{L} i(t) + \frac{di(t)}{dt} = 0 \quad \left(\frac{R_2}{L} = \frac{1}{\tau} \right)$$

$$i(t) = i(0) e^{-R_2 t / L} = i(0) e^{-t / \tau} \quad t \geq 0$$

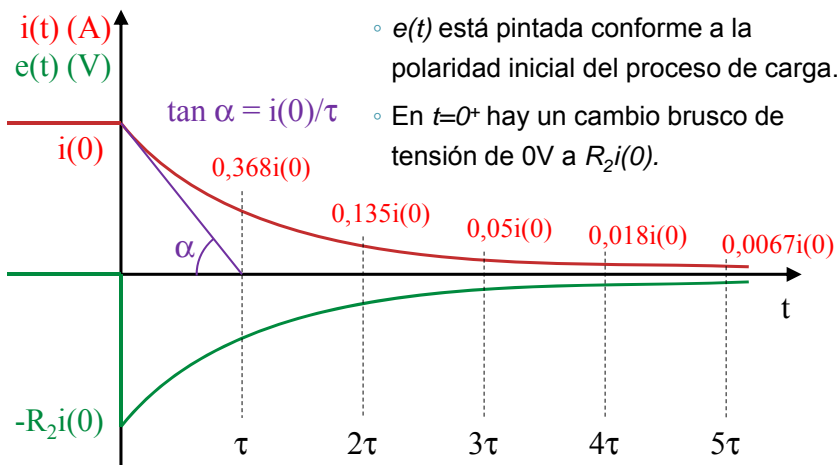
$$\left. \begin{aligned} e(t) &= -u(t) = R_2 i(t) \\ e(t) &= -L \frac{di(t)}{dt} \end{aligned} \right\} e(t) = R_2 i(0) e^{-t / \tau} \quad t > 0$$

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

71

10. Bobinas

- Proceso de descarga de un circuito RL en CC



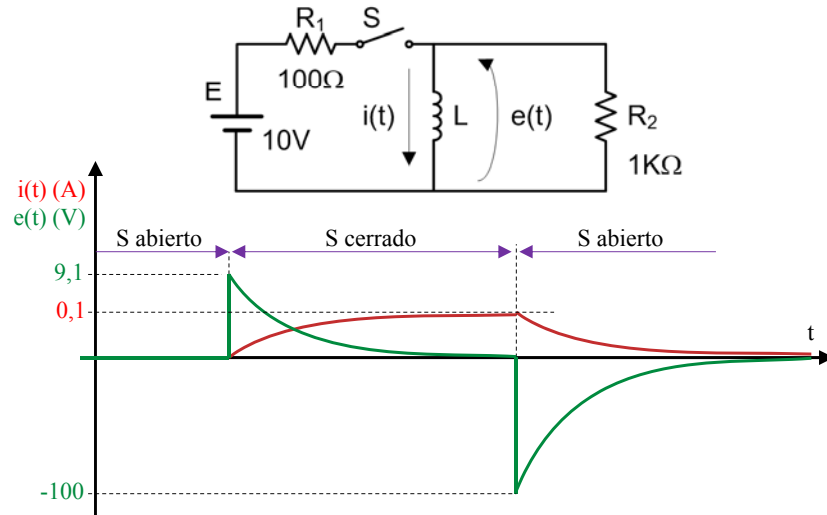
- $e(t)$ está pintada conforme a la polaridad inicial del proceso de carga.
- En $t=0^+$ hay un cambio brusco de tensión de $0V$ a $R_2 i(0)$.

TI: El circuito eléctrico en corriente continua

72

10. Bobinas

- Carga y descarga de un circuito RL en CC



T1: El circuito eléctrico en corriente continua

73

10. Soluciones de las EDO

- Condensadores

$$\frac{du_c(t)}{dt} + \frac{u_c(t)}{RC} = 0$$

$$\frac{du_c(t)}{dt} = -\frac{u_c(t)}{RC}$$

$$\frac{du_c(t)}{u_c(t)} = -\frac{1}{RC} dt$$

$$\int_{u_c(0)}^{u_c(t)} \frac{dx(t)}{x(t)} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dy$$

$$\ln \frac{u_c(t)}{u_c(0)} = -\frac{1}{RC} t$$

$$\frac{u_c(t)}{u_c(0)} = e^{-t/RC}$$

$$u_c(t) = u_c(0)e^{-t/RC} \quad t \geq 0$$

$$\frac{du_c(t)}{dt} + \frac{u_c(t)}{RC} = 0$$

$$\left[\begin{array}{l} u_c(t) = Ae^{st} \\ \frac{du_c(t)}{dt} = sAe^{st} \end{array} \right]$$

$$sAe^{st} + \frac{1}{RC} Ae^{st}$$

$$A \left(s + \frac{1}{RC} \right) e^{st} = 0$$

$$s + \frac{1}{RC} = 0 \Rightarrow s = -\frac{1}{RC}$$

$$\left[u_c(0) = Ae^{s \cdot 0} = A \right]$$

$$u_c(t) = u_c(0)e^{-t/RC} \quad t \geq 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{du_c(t)}{dt} + \frac{u_c(t)}{RC} = \frac{E}{RC} \\ u_c(0^+) = u_c(0^-) = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_p(t) = E \\ u_h(t) = Ae^{-t/RC} \end{array} \right.$$

$$u_c(t) = E + Ae^{-t/RC}$$

$$\left[\begin{array}{l} u_c(0^+) = E + A = 0 \\ A = -E \end{array} \right]$$

$$u_c(t) = E - Ee^{-t/RC} \quad t \geq 0$$

T1: El circuito eléctrico en corriente continua

74