

# Dispositivos Electrónicos



**AÑO: 2010**

**TEMA 2: NOCIONES BÁSICAS DE TEORÍA DE CIRCUITOS**



Rafael de Jesús Navas González  
Fernando Vidal Verdú



## TEMA 2: NOCIONES BÁSICAS DE TEORÍA DE CIRCUITOS

### 2.1. Magnitudes Eléctricas. Circuitos Eléctricos y Electrónicos. Teoría de Circuitos.

*2.1.1 Variables y magnitudes básicas: Carga, Corriente y Tensión eléctricas, Flujo Magnético. Energia y Potencia*

*2.1.2 Sistemas Electrónicos: Circuitos y Teoría de Circuitos. Modelado.*

### 2.2. Definiciones y Leyes Básicas. Elementos Básicos de Circuito.

*2.2.1 Elementos constitutivos de un circuito. Elementos de Circuito.*

*2.2.2 Relaciones fundamentales: Leyes de Kirchhoff y Relaciones tensión-corriente. Analisis de Circuitos.*

*2.2.3 Elementos básicas de circuito: resistores, condensadores, inductores, fuentes independientes y controladas*

*2.2.4 Modelos básicos de dispositivos electrónicos: Diodo, transistor bipolar.*

### 2.3. Análisis de Circuitos: Algoritmo general de análisis y algunos Resultados básicos.

*2.3.1 Algoritmo general de analisis de circuitos.*

*2.3.2 Circuitos equivalentes: Elementos en serie, paralelo. Equivalentes Thevenin y Norton.*

*2.3.3 Relaciones simples, algunos errores frecuentes y circuitos imposibles.*

*2.3.4 Circuitos con elementos dinámicos. Carga y descarga de condensadores.*

## TEMA 2: NOCIONES BÁSICAS DE TEORÍA DE CIRCUITOS

### OBJETIVOS:

Al estudiar este tema el alumno debe ser capaz de:

- Identificar las principales magnitudes, variables eléctricas y terminología propias de un circuito electrónico.
- Conocer e identificar los elementos de circuitos básicos (resistencia, fuentes independientes de tensión e intensidad, fuentes dependientes, bobina y condensador), las relaciones tensión-intensidad que los caracterizan.
- Conocer y comprender las leyes fundamentales del análisis de circuitos: leyes de Kirchhoff.
- Comprender la finalidad del análisis de circuitos e identificar las posibles variables a emplear.
- Analizar circuitos resistivos en DC de pequeña complejidad planteando el conjunto de ecuaciones necesarias para evaluar alguna de las variables incognita.
- Conocer y aplicar al análisis de circuitos algunos resultados básicos: divisor de tensión, divisor de corriente, equivalente de elementos conectados en serie o paralelo, equivalentes Thevenin y Norton.
- Conocer el comportamiento de los circuitos dinámicos básicos: carga y descarga de un condensador y su relación con los parámetros temporales de una puerta lógica: tiempo de subida, tiempo de bajada y tiempo de propagación.
- Emplear PSPICE como herramienta de análisis y simulación de los circuitos propuestos.

## LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- **Navas González R. y Vidal Verdú F. "Curso de Dispositivos Electrónicos en Informática y Problemas de Examen Resueltos" Universidad de Málaga/ Manuales 2006. Tema 2: pag.49-104.**
- **Fernández Ramos, J. y otros, "Dispositivos Electrónicos para Estudiantes de Informática" Universidad de Málaga / Manuales 2002. Tema 1: pag. 1-29.**
- **Carlson. A.B. "Teoría de Circuitos" Ed. Thomson-Paraninfo. 2002. Tema 1, Tema 2, Tema 3 y Tema 4**
- **Nilsson J.W. & Riedel S.A. "Circuitos Eléctricos" Ed. Pearson 2005. Tema 1, Tema 2, Tema 3, Tema 4.**
- **Johnson, David E, "Análisis básico de circuitos eléctricos", Ed. Prentice-Hall 1996. Tema1,Tema2 y Tema4**
- **Ogayar Fernández, B. y López Valdivia, A, "Teoría de circuitos con Orcad Pspice : 20 prácticas de laboratorio" Ed. Ra-Ma. 2000.**
- **Daza A. y García J. "Ejercicios de Dispositivos Electrónicos" Universidad de Málaga/Manuales 2003. Tema 1: pag 31-38.**

## MAGNITUDES Y VARIABLES IMPLICADAS EN EL ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE CIRCUITOS

### ● ASOCIADAS AL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

- Carga eléctrica,  $q(t)$ , Culombios (C)
- Intensidad de corriente,  $i(t) = \frac{d}{dt}q(t)$  , Amperio (A)
- Flujo magnético,  $\phi(t)$ , Webers (Wb)
- Tensión eléctrica, Voltio (V)
 

}	Trabajo por unidad de carga	$v(t) = \frac{d}{dq}W(t)$
	Ley de Faraday	$v(t) = \frac{d}{dt}\phi(t)$

### ● FUNDAMENTALES

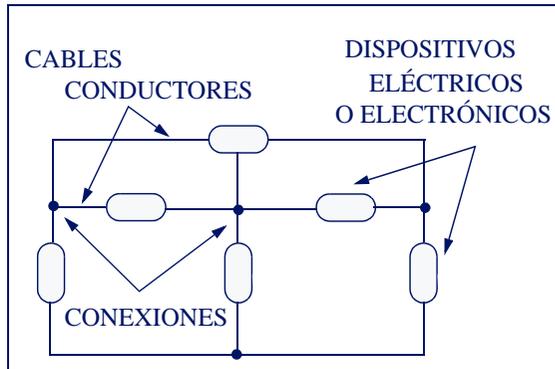
- Energía,  $W(t) = \int_{-\infty}^t p(\tau)d\tau = \int_{-\infty}^t (v(\tau) \cdot i(\tau))d\tau$  , Julios (J)
- Potencia,  $p(t)$ ,  $p(t) = \frac{d}{dt}W(t) = v(t) \cdot i(t)$  , Watos (W)

PREFIJOS EMPLEADOS EN LAS UNIDADES

nombre	símbolo	factor multiplicativo
femto	f	$\times 10^{-15}$
pico	p	$\times 10^{-12}$
nano	n	$\times 10^{-9}$
micro	$\mu$	$\times 10^{-6}$
mili	m	$\times 10^{-3}$
kilo	k	$\times 10^3$
mega	M	$\times 10^6$
giga	G	$\times 10^9$
tera	T	$\times 10^{12}$

## SISTEMAS ELECTRÓNICOS. CIRCUITOS Y TEORÍA DE CIRCUITOS. MODELADO

### ● SISTEMA ELECTRÓNICO REAL



- ▶ Su campo de aplicación abarca un amplio abanico de sistemas en cuanto a:

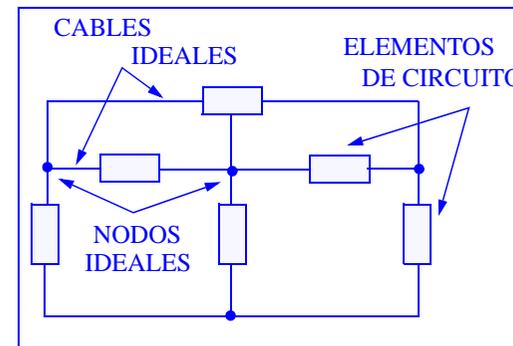
- Tamaño del circuito
- Magnitud de Tensiones
- Magnitud de intensidades
- Frecuencia de las señales
- Potencia puesta en juego

### ● TEORÍA DE CIRCUITOS

- ▶ Se centra en el estudio del comportamiento eléctrico y trata de establecer relaciones generales entre las magnitudes y variables eléctricas medidas en diferentes puntos de sistema.
- ▶ Trabaja sobre modelos de circuitos, los cuales establecen aproximaciones en términos de elementos ideales, y proporciona las herramientas matemáticas necesarias para realizar predicciones sobre su comportamiento. Si estas predicciones no concuerdan con las medidas realizadas sobre el sistema real, la causa de esta discrepancia hay que buscarla en un modelado deficiente.

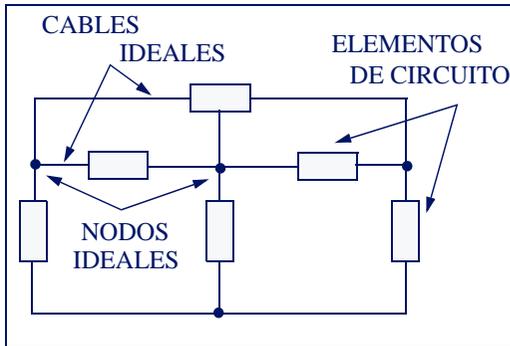


### MODELO DE CIRCUITO ELECTRÓNICO



## CIRCUITOS ELECTRÓNICOS Y ELEMENTOS DE CIRCUITO

### ● MODELO DE CIRCUITO ELECTRÓNICO



### ● ELEMENTOS DE CIRCUITO

-

- Son abstracciones que modelan propiedades eléctricas de los dispositivos físicos en términos de:
  - Tensión entre sus terminales  $v(t)$**
  - y Corriente que lo atraviesa  $i(t)$**

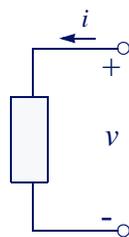
$$v(t) = v_1(t) - v_2(t)$$

$$i(t) = i_1(t) = i_2(t)$$

### ● REFERENCIAS DE CORRIENTE Y TENSIÓN EN UN ELEMENTO DE CIRCUITO:

#### - CRITERIO DEL ELEMENTO PASIVO:

**SE ASIGNARÁN REFERENCIAS DE TENSIÓN Y CORRIENTE DE MANERA QUE SE CUMPLA**



ELEMENTO PASIVO  $\longrightarrow$   $p(t) = v(t) \cdot i(t) > 0 \quad \forall t$

Consume energía  
o es capaz de almacenarla

ELEMENTO ACTIVO  $\longrightarrow$   $p(t) = v(t) \cdot i(t) < 0$

Todo aquel que no es pasivo  
Capaz de proporcionar energía

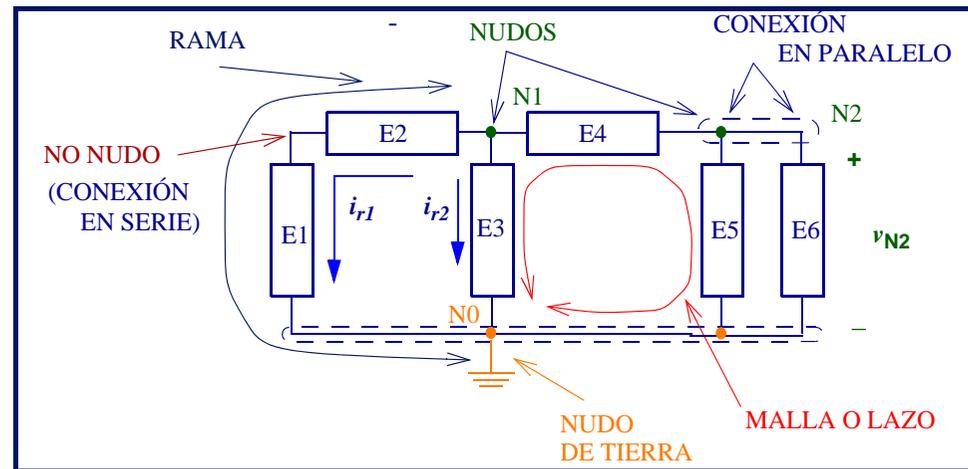
### ● CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

En un circuito siempre se cumple la ecuación

$$\sum \text{Potencia suministrada} = \sum \text{Potencia consumida}$$

## CIRCUITOS ELECTRÓNICOS. DEFINICIONES

### ● CIRCUITO ELECTRÓNICO: ELEMENTOS CONSTITUTIVOS



### ● CIRCUITO ELECTRÓNICO: VARIABLES DE CIRCUITO: REFERENCIA DE POLARIDAD

- **CORRIENTES EN LAS RAMAS** (REF. ARBITRARIA: LA MÁS APROPIADA PARA SIMPLIFICAR ECUACIONES)
- **TENSIONES EN LOS NUDOS** (REF. TENSIÓN RESPECTO AL NUDO DE TIERRA:  $V_{N1N0} = V_{N1} - V_{N0} = V_{N1}$ )
- **DIFERENCIAS DE TENSIONES ENTRE NUDOS** (REF.  $V_{N1N2} = V_{N1} - V_{N2}$ )

## CIRCUITOS ELECTRÓNICOS. ANÁLISIS Y LEYES FUNDAMENTALES

### ● ANÁLISIS DE CIRCUITOS:

#### ▶ OBJETIVO: DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LAS VARIABLES DE CIRCUITO:

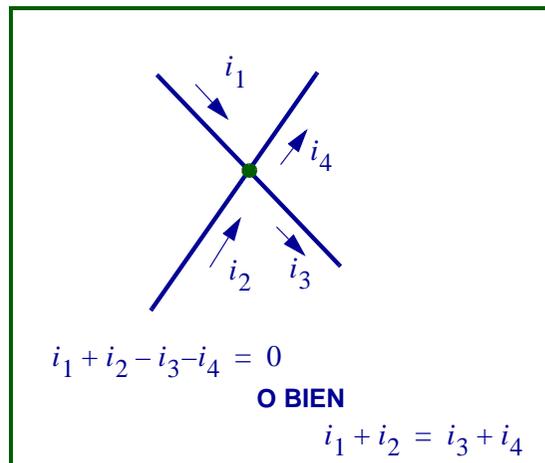
- CORRIENTES Y TENSIONES EN LOS ELEMENTOS DE CIRCUITO
- CORRIENTES EN LAS RAMA Y TENSIONES EN LOS NODOS

#### ▶ PRINCIPALES HERRAMIENTAS:

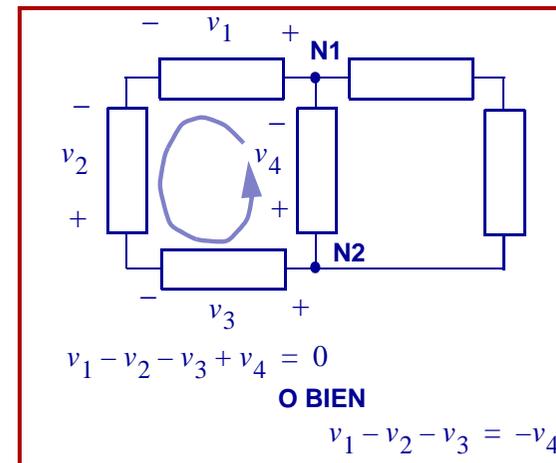
- LEYES DE KIRCHHOFF (LKI) (LKV)
- RELACIÓN TENSION-CORRIENTE EN LOS TERMINALES DE LOS ELEMENTOS DE CIRCUITO

### LEYES DE KIRCHHOFF

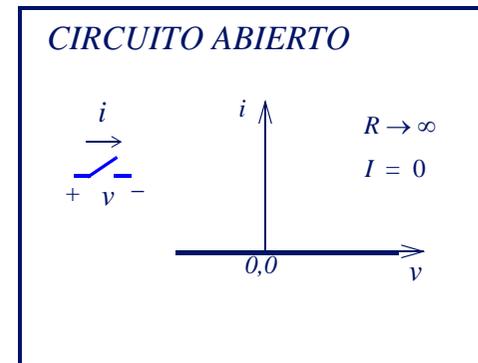
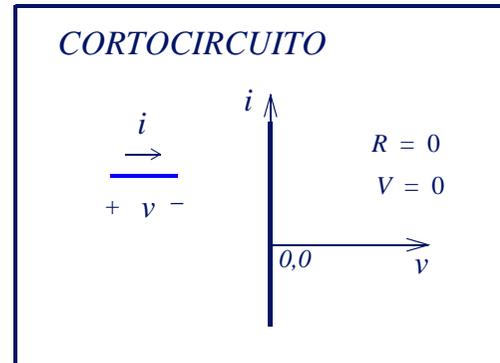
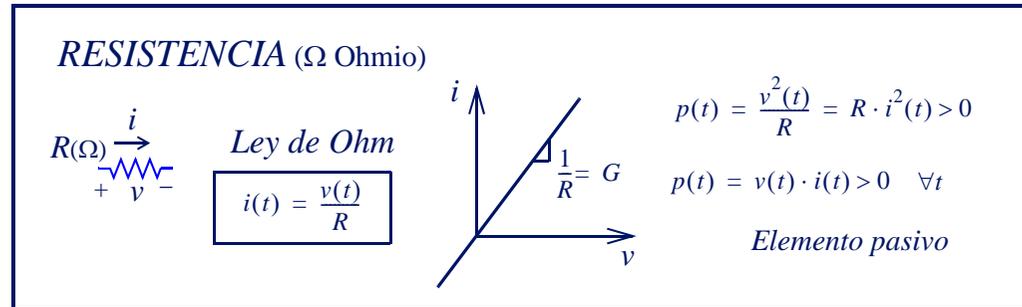
#### LEY DE KIRCHHOFF DE CORRIENTE (LKI)



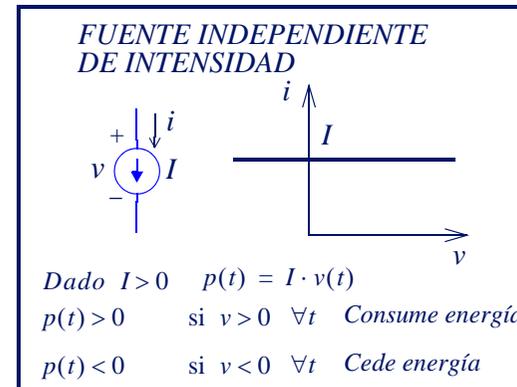
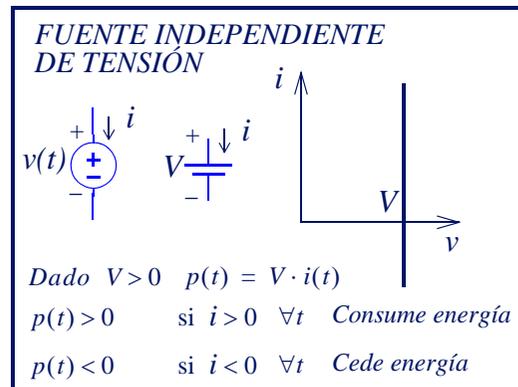
#### LEY DE KIRCHHOFF DE TENSION (LKV)



## ELEMENTOS DE CIRCUITO BÁSICOS: RELACIÓN TENSION-CORRIENTE

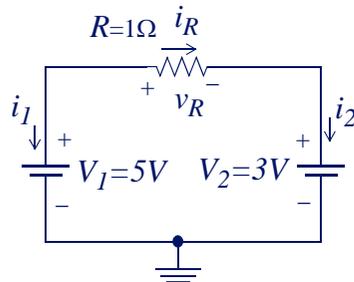


## ELEMENTOS DE CIRCUITO BÁSICOS: RELACIÓN TENSIÓN-CORRIENTE



*Ej: Determinar los valores de  $i_1, i_2, v_R$  e  $i_R$ .*

*¿Qué elementos son pasivos y cuáles activos? Realizar el balance energético*



**LKV:**

$$V_1 = v_R + V_2$$

$$v_R = 2V$$

**Ley de Ohm**

$$v_R = R i_R$$

$$i_R = 2A$$

**LKI:**

$$i_1 = -i_R$$

$$i_2 = i_R$$

$$i_1 = -2A$$

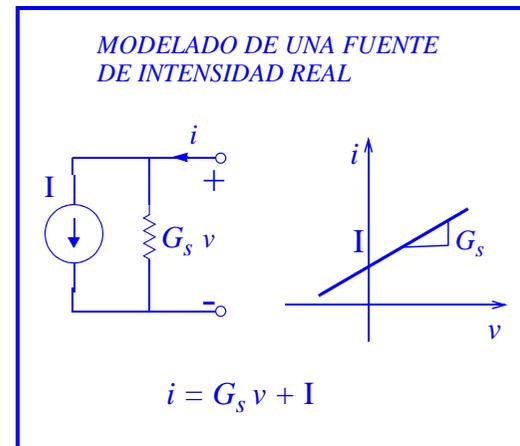
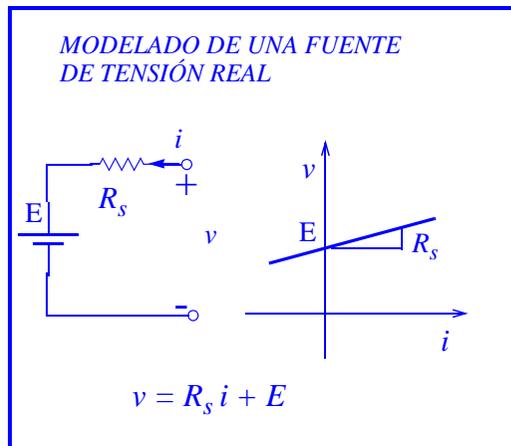
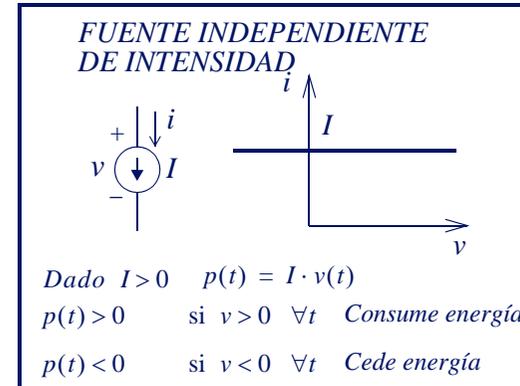
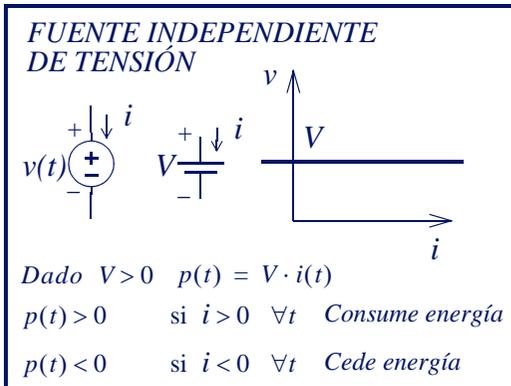
$$i_2 = 2A$$

$$p_R = v_R i_R = 4W > 0 \quad \text{Elemento pasivo}$$

$$p_{V1} = V_1 i_1 = -10W < 0 \quad \text{Elemento activo}$$

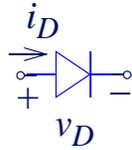
$$p_{V2} = V_2 i_2 = 6W > 0 \quad \text{Elemento pasivo}$$

## ELEMENTOS DE CIRCUITO BÁSICOS: RELACIÓN TENSIÓN-CORRIENTE



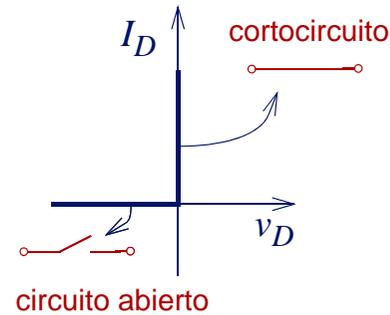
## ELEMENTOS DE CIRCUITO BÁSICOS: RELACIÓN TENSIÓN-CORRIENTE

### DIODO IDEAL



$$I_D = 0 \text{ Si } V_D \leq 0$$

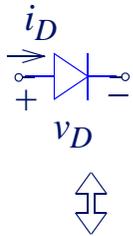
$$V_D = 0 \text{ Si } I_D \geq 0$$



Elemento pasivo

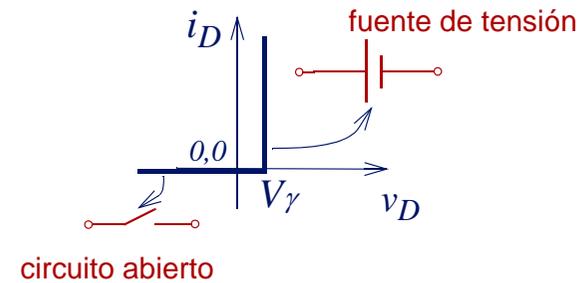
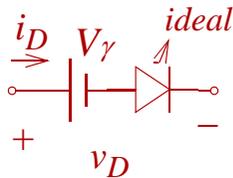
$$p(t) = v_D(t) \cdot i_D(t) = 0 \quad \forall t$$

### MODELO CON TENSIÓN UMBRAL



$$I_D = 0 \quad \text{Si } V_D \leq V_\gamma$$

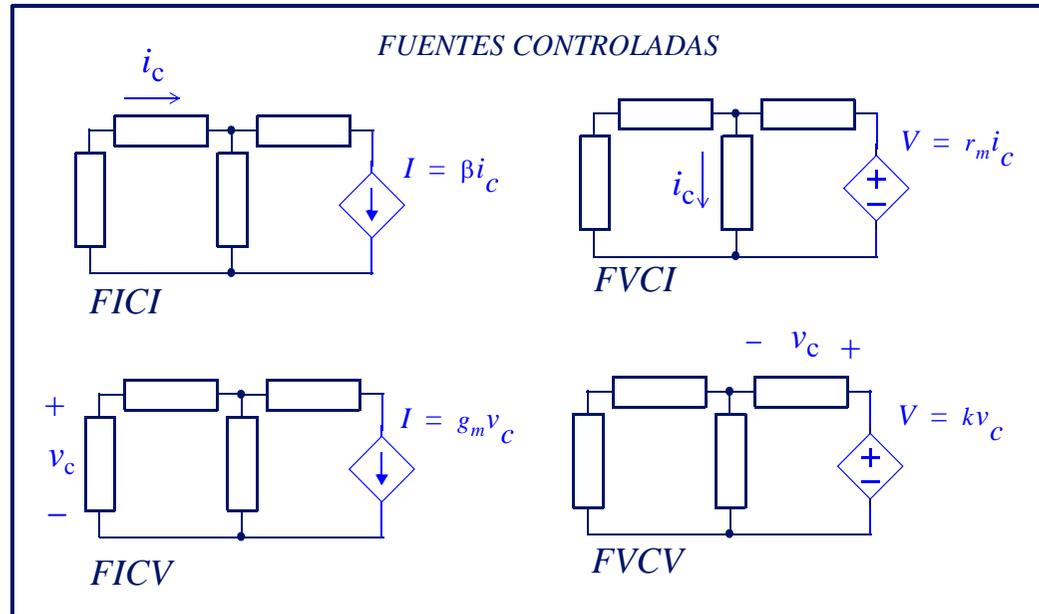
$$V_D = V_\gamma \quad \text{Si } I_D \geq 0$$



Elemento pasivo

$$p(t) = v_D(t) \cdot i_D(t) \geq 0 \quad \forall t$$

## ELEMENTOS DE CIRCUITO BÁSICOS: RELACIÓN TENSION-CORRIENTE



*FICI: Fuente de Intensidad Controlada por Intensidad*

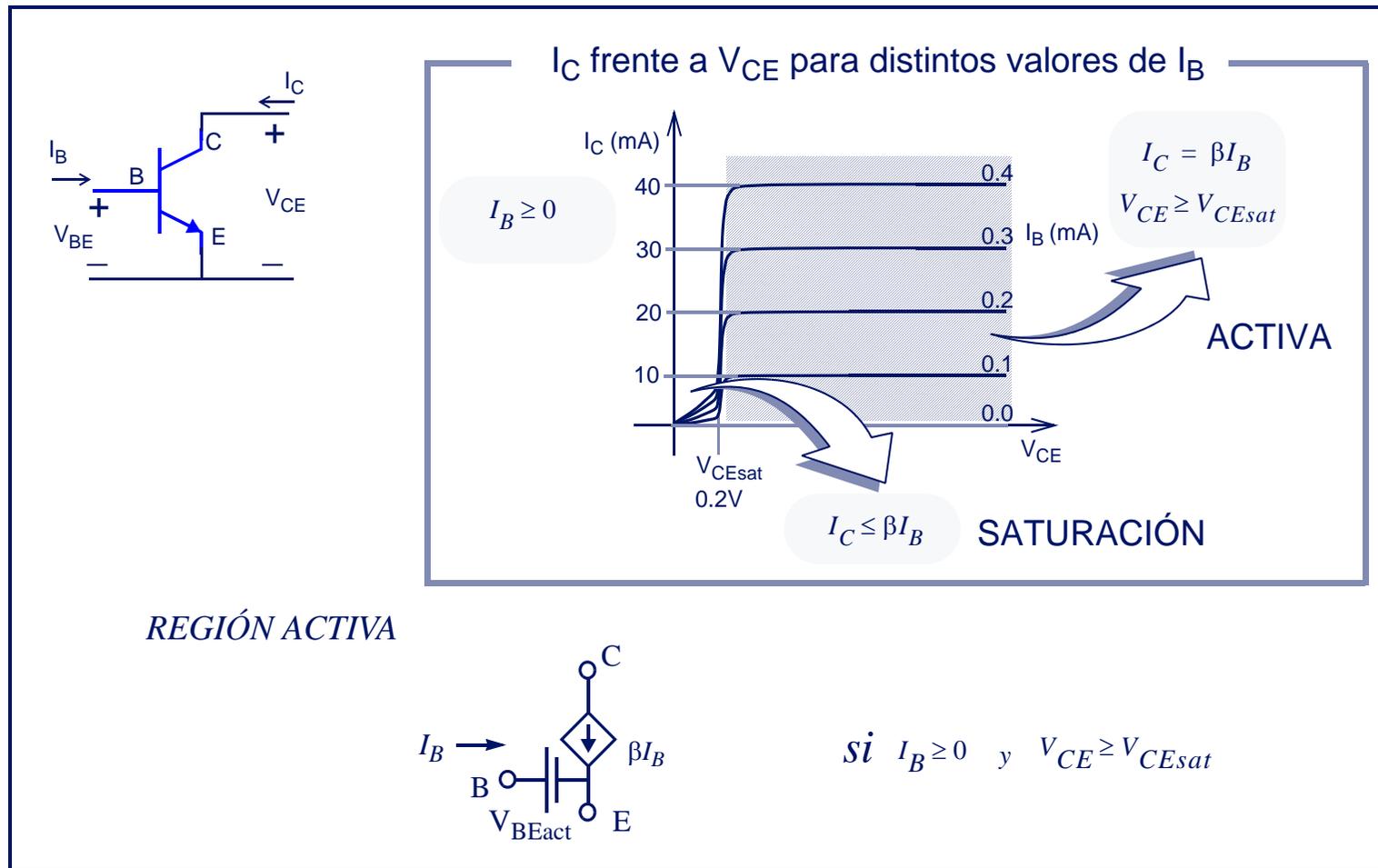
*FVCI: Fuente de Voltaje Controlada por Intensidad*

*FICV: Fuente de Intensidad Controlada por Voltaje*

*FVCV: Fuente de Voltaje Controlada por Voltaje*

## ELEMENTOS DE CIRCUITO BÁSICOS:

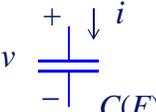
### EJEMPLO MODELADO: TRANSISTOR BJT NPN EN SU REGIÓN ACTIVA



## ELEMENTOS DE CIRCUITO BÁSICOS: RELACIÓN TENSION-CORRIENTE

### ELEMENTOS DINÁMICOS

*CONDENSADOR* (*F* Faradio)

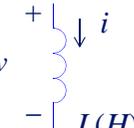


$$i = C \frac{dv}{dt}$$

*Elemento pasivo  
almacenador de energía eléctrica*

$$W = \frac{1}{2} C v^2$$

*INDUCTANCIA* (*H* Henrio)



$$v = L \frac{di}{dt}$$

*Elemento pasivo  
almacenador de energía eléctrica*

$$W = \frac{1}{2} L i^2$$

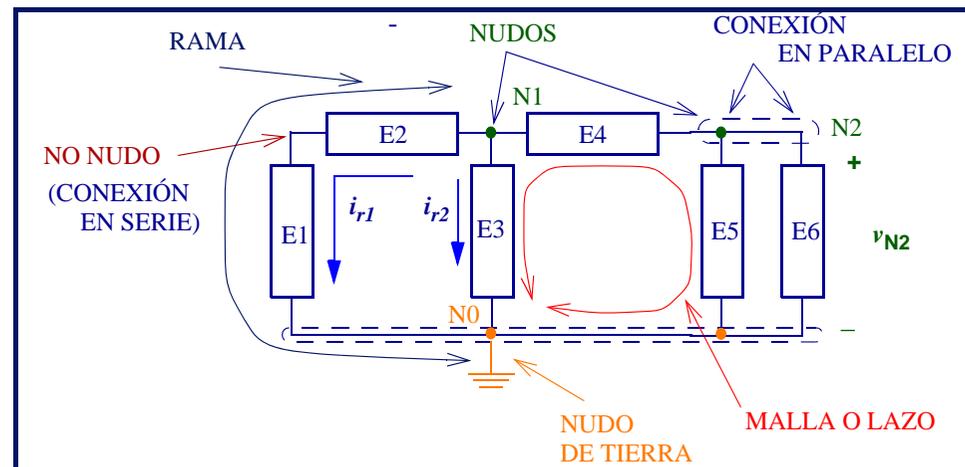
## ANÁLISIS DE CIRCUITOS: ALGORITMO GENERAL DE ANÁLISIS I

### ● POSIBLES VARIABLES INCOGNITA EN UN CIRCUITO:

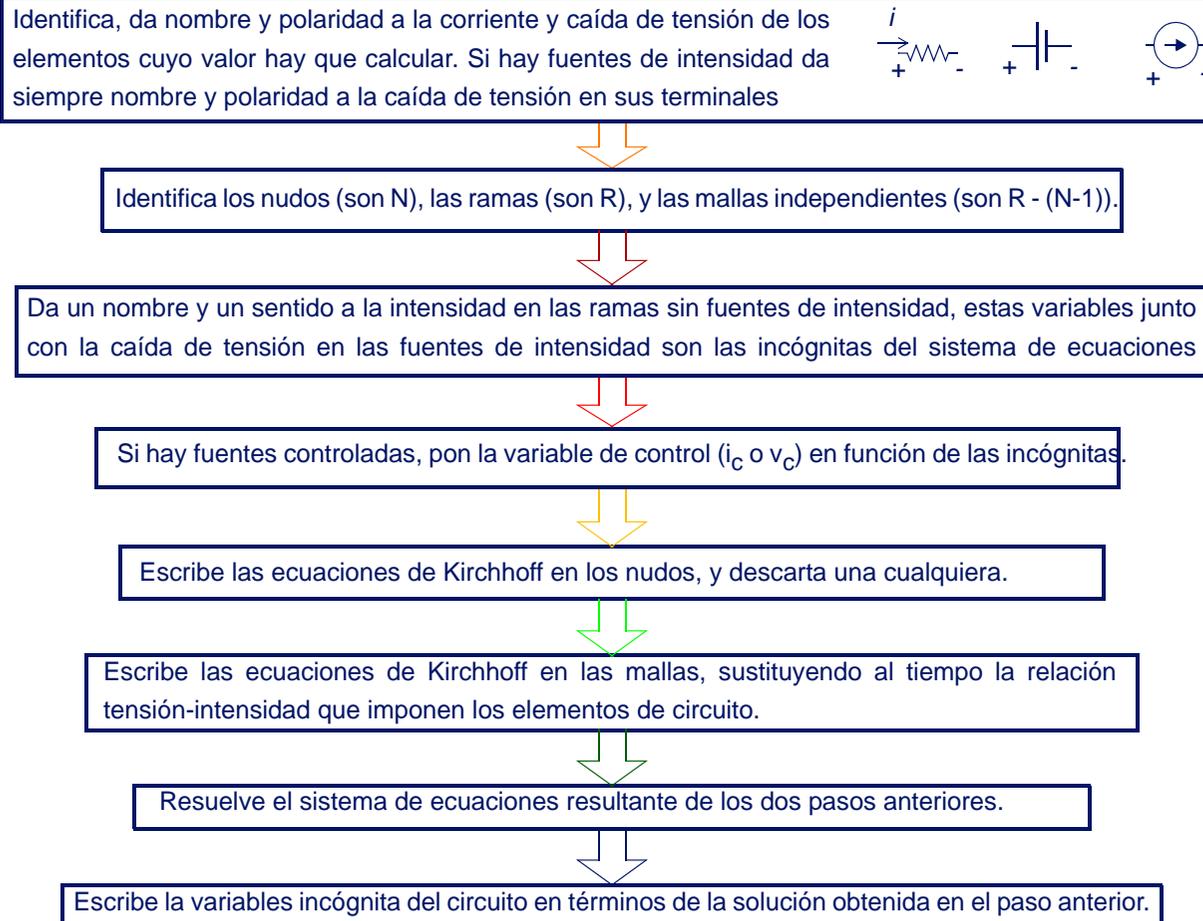
- Intensidades y tensiones en los elementos (en todos o en alguno/os en particular)
- Tensiones entre dos nudos cualesquiera
- Intensidad en cualquiera de las ramas
- Cualquier otra variable o magnitud eléctrica asociada al sistema

### ● ALGORITMOS DE ANÁLISIS:

*Plantear y resolver un sistema con el **mínimo  $n^{\circ}$  de ecuaciones e incógnitas** que permitan calcular cualquiera de las posibles incógnitas en un circuito.*

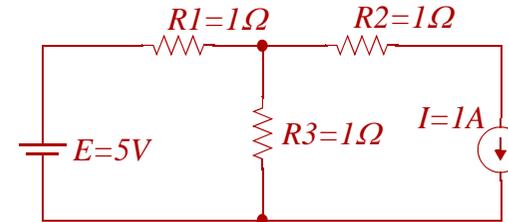


## ANÁLISIS DE CIRCUITOS: ALGORITMO GENERAL DE ANÁLISIS II



## ALGORITMO GENERAL DE ANÁLISIS: EJEMPLO

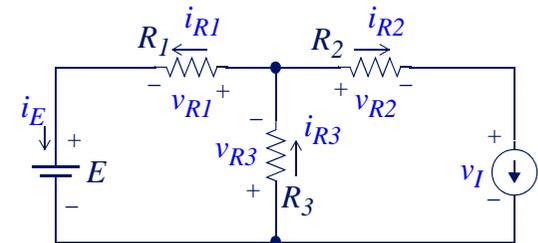
*Ej: Determinar los valores de las corrientes y las tensiones en todos los elementos del circuito de la figura.  
(Cálculo del punto de operación o análisis dc).*



### ► Aplicación del algoritmo de resolución de circuitos

1º ) *Identificación de las variables cuyo valor hay que calcular y elección de la referencia de sus polaridades:*

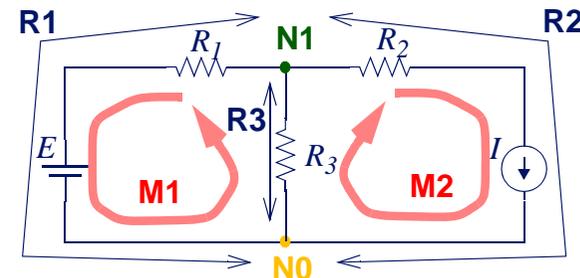
- Tensión e Intensidad en cada una de las resistencias ( $v_{R1}, i_{R1}, v_{R2}, i_{R2}, v_{R3}, i_{R3}$ ).
- Intensidad en la fuente de tensión  $E$ , ( $i_E$ )
- Tensión en la fuente de intensidad  $I$ , ( $v_I$ ).



2º ) *Identificación del nº de nodos, ramas y mallas independientes*

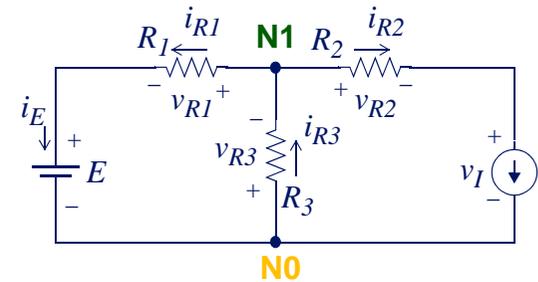
$$N = 2 \text{ (N0 y N1)} ; R = 3 \text{ (R1, R2, R3)}$$

$$M = R - (N-1) = 2 \text{ (M1 y M2)}$$



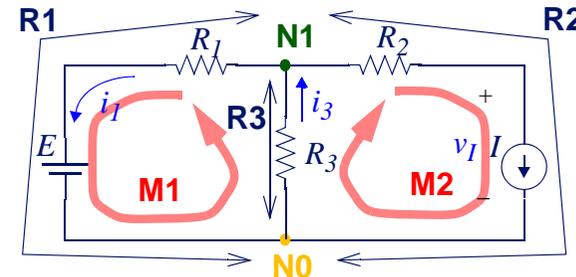
## ALGORITMO GENERAL DE ANÁLISIS: EJEMPLO

*Ej: Determinar los valores de las corrientes y las tensiones en todos los elementos del circuito de la figura.*  
*(Cálculo del punto de operación o análisis dc).*  
**(Continuación)**



3º) *Selección del conjunto mínimo de variables independientes, nominación y asignación de referencias de polaridad:*

- Intensidad en las ramas que no contengan fuentes de intensidad ( $i_1, i_3$ ).
- Tensión en la fuente de intensidad  $I$ , ( $v_I$ ).



4º) *Planteamiento y resolución del sistema de ecuaciones*

**N** -1 ecuaciones de nudos y  
**M** ecuaciones de malla

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{N1:} \quad i_1 - i_3 + I = 0 \\ \mathbf{M1:} \quad R_1 i_1 + E + R_3 i_3 = 0 \\ \mathbf{M2:} \quad R_2 I + v_I + R_3 i_3 = 0 \end{array} \right\}$$

5º) *Cálculo de las variables que pide el enunciado en función de las variables calculadas en 4º)*

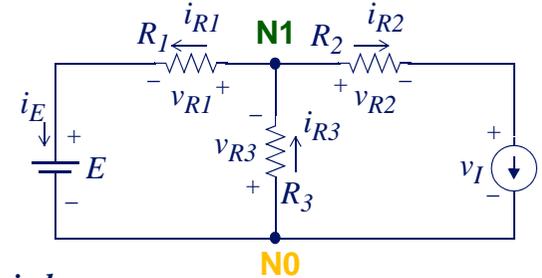
$$\begin{array}{ll} v_{R1} = R_1 i_1 & v_{R3} = R_3 i_3 \\ i_{R1} = i_1 & i_{R3} = i_3 \\ v_{R2} = R_2 I & v_I \text{ Se calcula en 4º)} \\ i_{R2} = I & i_E = i_1 \end{array}$$

## ALGORITMO GENERAL DE ANÁLISIS: EJEMPLO

Ej: Determinar los valores de las corrientes y las tensiones en todos los elementos del circuito de la figura.

(Cálculo del punto de operación o análisis dc).

(Continuación)



4°) Sistema de ecuaciones

$$\mathbf{N1:} \quad i_1 - i_3 + I = 0$$

$$\mathbf{M1:} \quad R_1 i_1 + E + R_3 i_3 = 0$$

$$\mathbf{M2:} \quad R_2 I + v_I + R_3 i_3 = 0$$

5°) Variables que pide el enunciado

$$i_{R1} = i_1 \quad i_{R2} = I \quad i_{R3} = i_3 \Rightarrow v_{R1} = R_1 i_1 \quad v_{R2} = R_2 I \quad v_{R3} = R_3 i_3$$

$$i_E = i_1 \quad v_I \text{ Se calcula en 4°)$$

Solución del sistema de ecuaciones y cálculo numérico

● Método de sustitución

De **N1**  $i_1 = i_3 - I \Rightarrow$  sustituyendo en **M1**

$$R_1 i_3 - R_1 I + R_3 i_3 = -E \Rightarrow i_3 = \frac{R_1 I - E}{R_1 + R_3}$$

$$\text{De donde } i_1 = \frac{R_1 I - E}{R_1 + R_3} - I = -\frac{R_3 I + E}{R_1 + R_3}$$

De **M2**  $v_I = -R_2 I - R_3 i_3 \Rightarrow$  sustituyendo  $i_3$

$$v_I = -R_2 I - \frac{R_3 (R_1 I - E)}{R_1 + R_3}$$

Sustituyendo valores numéricos

$$i_3 = -2A$$

$$i_1 = -3A$$

$$v_I = 1V$$

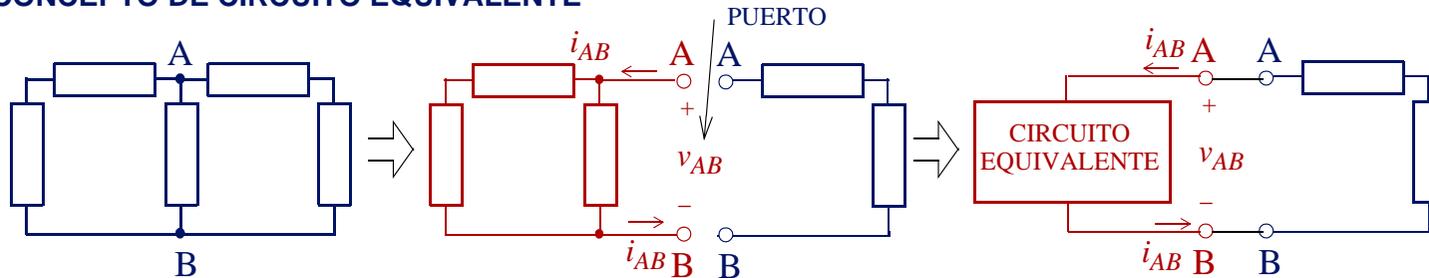
y finalmente

$$v_{R1} = -3V \quad v_{R2} = 1V \quad v_{R3} = -2V \quad v_I = 1V \quad E = 5V$$

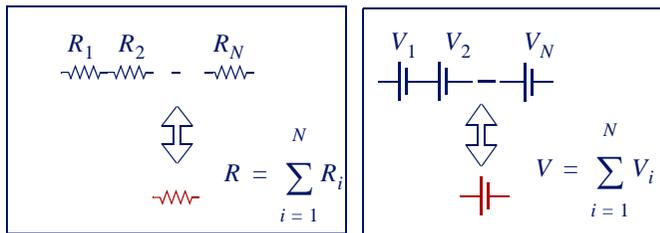
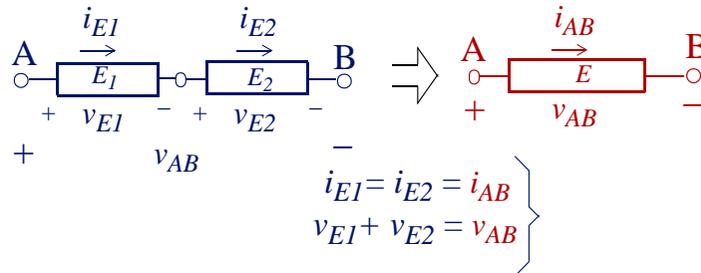
$$i_{R1} = -3A \quad i_{R2} = 1A \quad i_{R3} = -2A \quad I = 1A \quad i_E = -3A$$

## ANÁLISIS DE CIRCUITOS: ALGUNOS RESULTADOS BÁSICOS

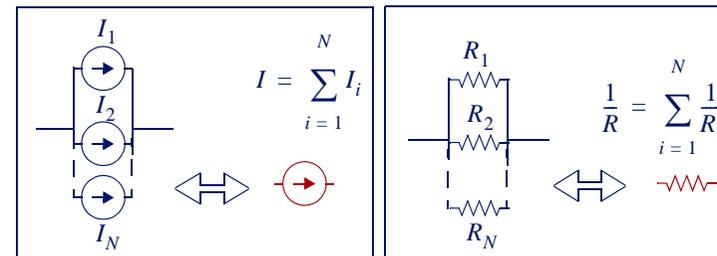
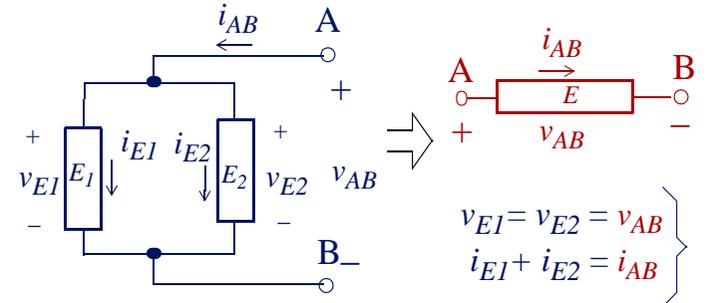
- CONCEPTO DE CIRCUITO EQUIVALENTE



- EQUIVALENTE DE ELEMENTOS EN SERIE

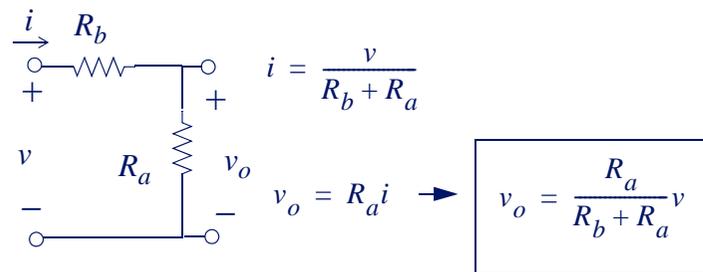


- EQUIVALENTE DE ELEMENTOS EN PARALELO

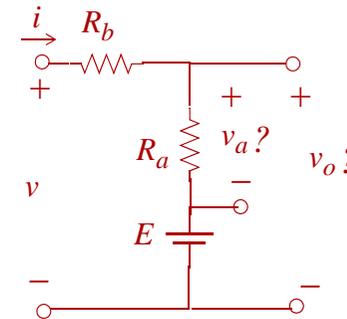


## ANÁLISIS DE CIRCUITOS: ALGUNOS RESULTADOS BÁSICOS

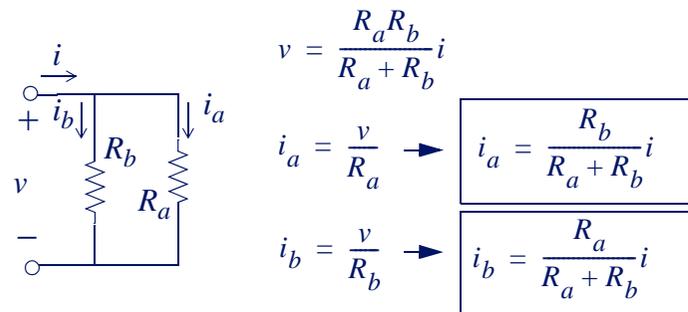
### ● DIVISOR DE TENSIÓN



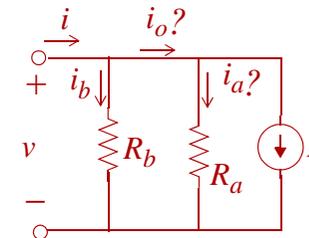
*Ejercicio:*



### ● DIVISOR DE INTENSIDAD

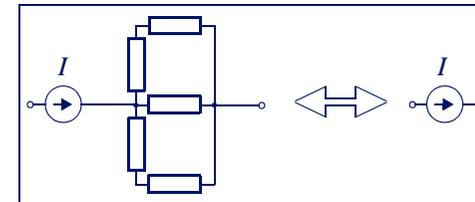
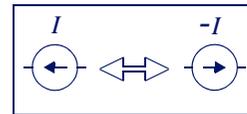
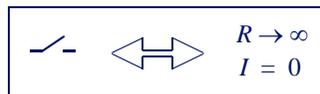
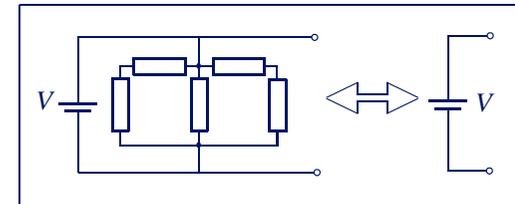
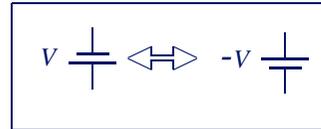


*Ejercicio:*

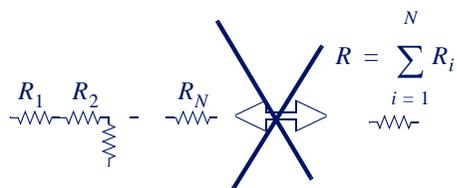


## ANÁLISIS DE CIRCUITOS: ALGUNOS RESULTADOS BÁSICOS

### ● EQUIVALENCIAS

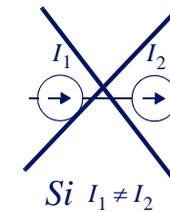
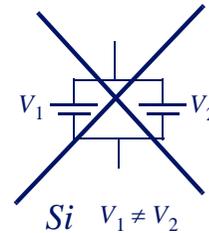


### ● ERRORES



**NO ES UNA ASOCIACION  
DE RESISTENCIAS EN SERIE**

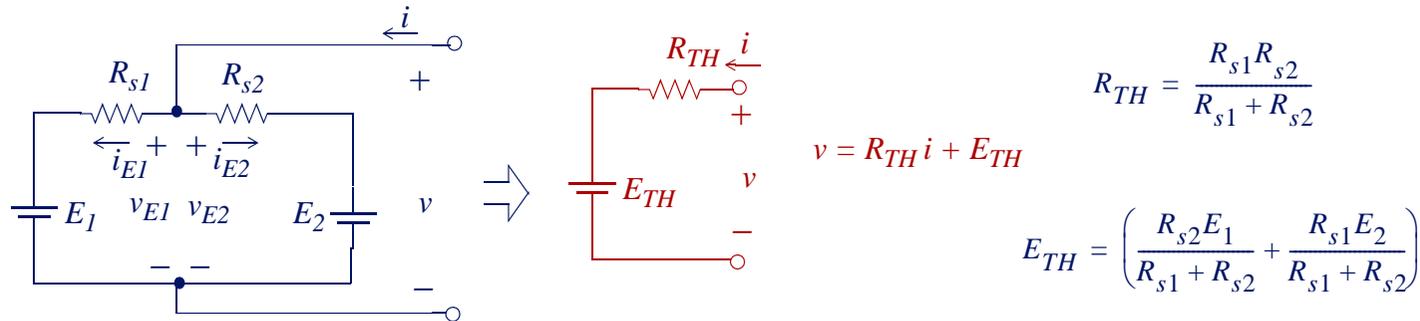
### ● CIRCUITOS IMPOSIBLES



## ANÁLISIS DE CIRCUITOS: ALGUNOS RESULTADOS BÁSICOS

**EJEMPLO:** *Si es posible la asociación y obtener un equivalente en el caso de fuentes reales*

*El equivalente de dos fuentes reales de tensión en paralelo es otra fuente real de tensión*



$$\left. \begin{aligned} v_{E1} &= R_{s1}i_{E1} + E_1 \\ v_{E2} &= R_{s2}i_{E2} + E_2 \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} v_{E1} &= v_{E2} = v \\ i_{E1} + i_{E2} &= i \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} R_{s1}i_{E1} + E_1 &= R_{s2}i_{E2} + E_2 \\ i_{E2} &= i - i_{E1} \end{aligned} \right\} \rightarrow R_{s1}i_{E1} + E_1 = R_{s2}(i - i_{E1}) + E_2$$

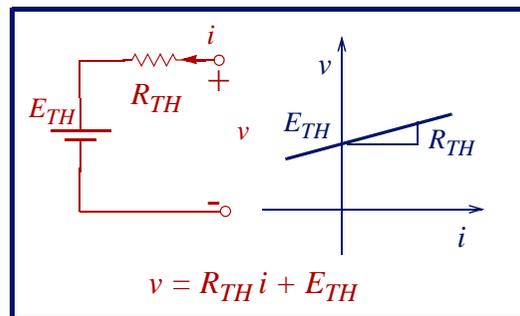
$$v = R_{s1}i_{E1} + E_1 \quad \downarrow \quad i_{E1} = \frac{R_{s2}}{R_{s1} + R_{s2}}i + \frac{E_2 - E_1}{R_{s1} + R_{s2}}$$

$$v = \frac{R_{s1}R_{s2}}{R_{s1} + R_{s2}}i + \left( \frac{R_{s2}E_1}{R_{s1} + R_{s2}} + \frac{R_{s1}E_2}{R_{s1} + R_{s2}} \right)$$

## ANÁLISIS DE CIRCUITOS: ALGUNOS RESULTADOS BÁSICOS EQUIVALENTES THEVENIN Y NORTON



### ● EQUIVALENTE THEVENIN



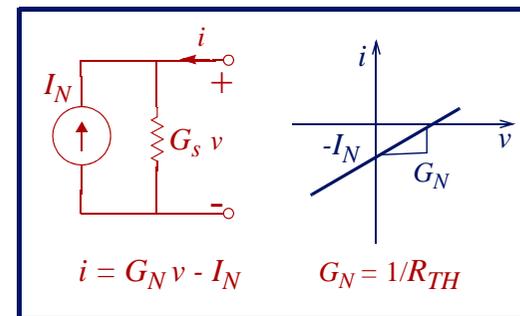
#### ■ $E_{TH}$ TENSIÓN THEVENIN

$$E_{TH} = v \text{ cuando } i = 0$$

#### ■ $R_{TH}$ RESISTENCIA THEVENIN

Es la resistencia equivalente vista desde los terminales A y B cuando se anulan las fuentes independientes

### ● EQUIVALENTE NORTON



#### ■ $I_N$ INTENSIDAD NORTON

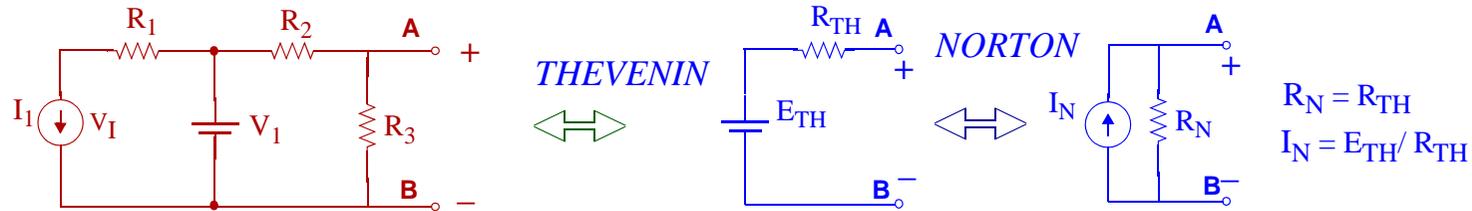
$$I_N = E_{TH} / R_{TH}$$

#### ■ $R_N$ RESISTENCIA NORTON

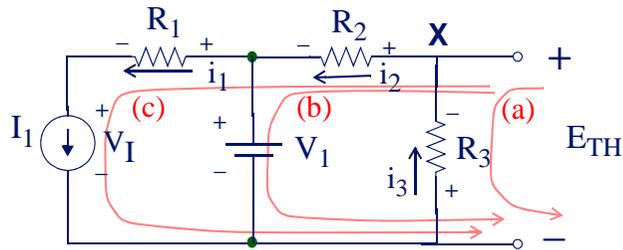
$$R_N = R_{TH}$$

## EQUIVALENTES THEVENIN Y NORTON

**Ejemplo:** *Obtener los equivalentes Thevenin y Norton desde los terminales A(+) y B(-)*



### ► CÁLCULO DE LA TENSIÓN THEVENIN:



- (a)  $E_{TH} = -i_3 R_3$
- (b)  $E_{TH} = i_2 R_2 + V_1$     (c)  $E_{TH} = i_2 R_2 + I_1 R_1 + V_1$

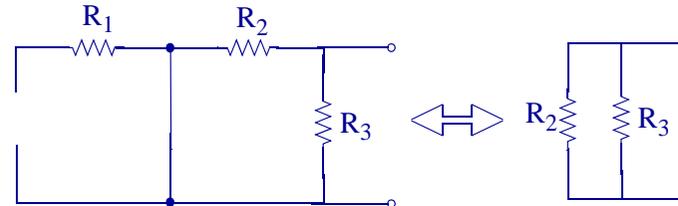
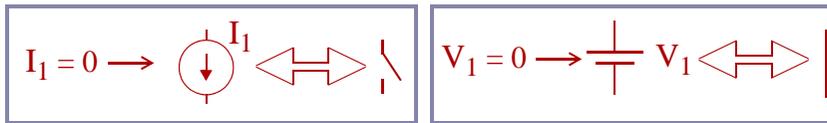
- Combinando (a) y (b)  $-i_3 R_3 = i_2 R_2 + V_1$
- De la conexión X  $i_2 = i_3$

- Juntando ambas  $i_3(R_3 + R_2) = -V_1 \rightarrow i_3 = \frac{-V_1}{(R_3 + R_2)}$

- Sustituyendo en (a)  $E_{TH} = \frac{R_3 V_1}{(R_3 + R_2)}$

### ► CÁLCULO DE LA RESISTENCIA THEVENIN/NORTON:

- SE ANULAN LAS FUENTES:



$$R_{TH} = R_2 \parallel R_3 = R_N$$

$$R_{TH} = R_2 R_3 / (R_2 + R_3)$$

### ► INTENSIDAD NORTON

$$I_N = E_{TH} / R_{TH}$$

$$I_N = V_1 / R_2$$

## EJEMPLO DE ANÁLISIS: CIRCUITO CON FUENTES DEPENDIENTES

Ej: Determinar la tensión en el nudo 1 (N1)  
y la corriente  $i_B$  en el circuito de la figura.

Dato:  $\beta = 50$

### ► Aplicación del algoritmo de resolución de circuitos

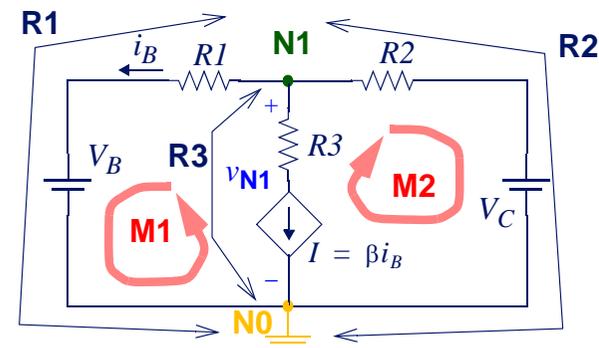
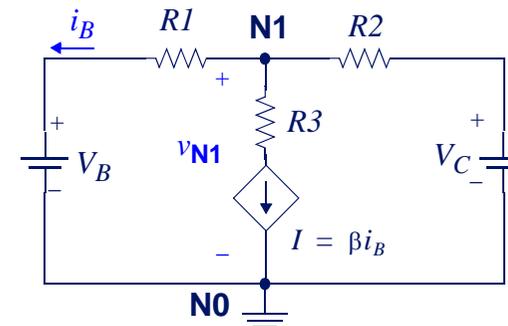
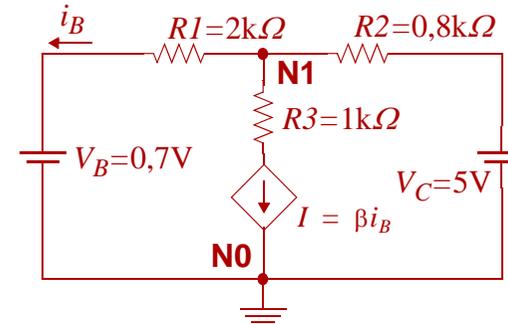
1º) Identificación de las variables cuyo valor hay que calcular  
y elección de la referencia de sus polaridades:

- Tensión en el nudo (N1) ( $v_{N1}$ )
- Intensidad ( $i_B$ )

2º) Identificación del nº de nodos, ramas  
y mallas independientes

$$N = 2 \text{ (N0 y N1)} ; R = 3 \text{ (R1, R2, R3)}$$

$$M = R - (N-1) = 2 \text{ (M1 y M2)}$$



## EJEMPLO DE ANÁLISIS: CIRCUITO CON FUENTES DEPENDIENTES

Ej: Determinar la tensión en el nudo 1 (N1)  
y la corriente  $i_B$  en el circuito de la figura.

Dato:  $\beta = 50$

(Continuación)

3º) Selección del conjunto mínimo de variables independientes,  
nominación y asignación de referencias de polaridad:

- Intensidad en las ramas que no contengan  
fuentes de intensidad ( $i_1, i_2$ ).

- Tensión en la fuente de intensidad  $I$ , ( $v_I$ ).

y sustitución de variables de control de las fuentes  
dependientes en función de las variables independientes:

- Intensidad de control ( $i_B$ ) sustituida por ( $i_1$ ), dado que  $i_B = i_1$

4º) Planteamiento y resolución  
del sistema de ecuaciones

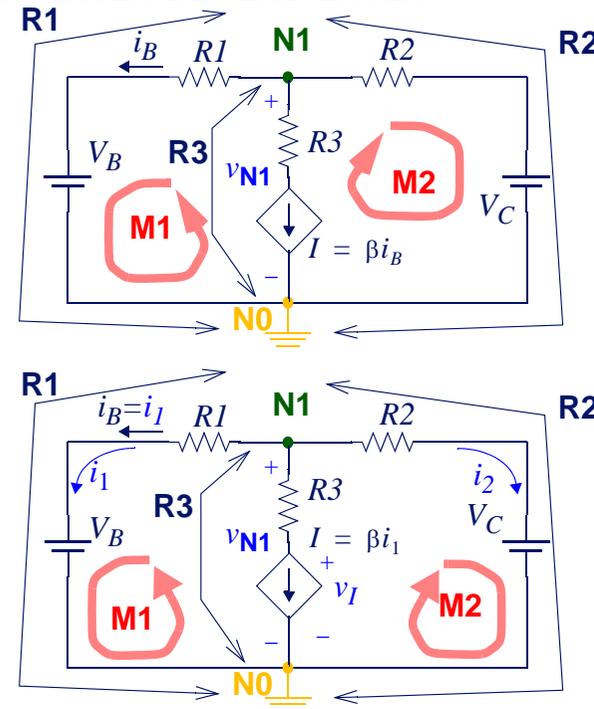
**N** -1 ecuaciones de nudos y

**M** ecuaciones de malla

$$\mathbf{N1:} \quad i_1 + i_2 + \beta i_1 = 0$$

$$\mathbf{M1:} \quad R_1 i_1 + V_B - v_I - R_3 \beta i_1 = 0$$

$$\mathbf{M2:} \quad R_2 i_2 + V_C - v_I - R_3 \beta i_1 = 0$$



5º) Cálculo de las variables que pide el enunciado  
en función de las variables calculadas en 4º)

$$v_{N1} = R_3 \beta i_1 + v_I \quad \text{o bien}$$

$$i_B = i_1 \quad v_{N1} = R_1 i_1 + V_B \quad \text{o bien}$$

$$v_{N1} = R_2 i_2 + V_C$$

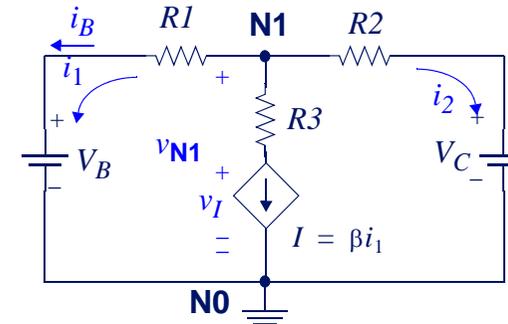
## EJEMPLO DE ANÁLISIS: CIRCUITO CON FUENTES DEPENDIENTES

Ej: Determinar la tensión en el nudo 1 (N1) y la corriente  $i_B$  en el circuito de la figura.

(Continuación)

Datos:

$$R1=2k\Omega \quad R2=0,8k\Omega \quad R3=1k\Omega \\ V_B = 0,7V \quad V_C = 5V \quad \beta = 50$$



4º) Planteamiento y resolución del sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} \mathbf{N1:} \quad & i_1 + i_2 + \beta i_1 = 0 \\ \mathbf{M1:} \quad & R_1 i_1 + V_B - v_I - R_3 \beta i_1 = 0 \\ \mathbf{M2:} \quad & R_2 i_2 + V_C - v_I - R_3 \beta i_1 = 0 \end{aligned}$$

Solución

del Sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad & (\beta + 1) i_1 + i_2 = 0 \\ \text{(b)} \quad & v_I - (R_1 - R_3 \beta) i_1 = V_B \\ \text{(c)} \quad & v_I + R_3 \beta i_1 - R_2 i_2 = V_C \end{aligned}$$

- De (a)  $\Rightarrow i_2 = -(\beta + 1) i_1$

- Sustituyendo en (c) se obtiene

$$\text{(d)} \quad v_I + [R_2 (\beta + 1) + R_3 \beta] i_1 = V_C$$

- Restando (d) - (b) se obtiene

$$\{ [R_2 (\beta + 1) + R_3 \beta] + (R_1 - R_3 \beta) \} i_1 = V_C - V_B$$

- Y finalmente

$$i_1 = \frac{V_C - V_B}{R_2 (\beta + 1) + R_1}$$

5º) Cálculo de las variables que pide el enunciado en función de las variables calculadas en 4º)

$$i_B = i_1 \quad v_{N1} = R_3 \beta i_1 + v_I \quad \text{o bien} \quad v_{N1} = R_1 i_1 + V_B \\ \text{Escigiendo} \quad \text{o bien} \quad v_{N1} = R_2 i_2 + V_C$$

¡Basta con calcular  $i_1$  para evaluar  $i_B$  y  $v_{N1}$ !



Al sustituir los valores numéricos hay que tener cuidado con las unidades en las que vienen expresadas los diferentes elementos

$$i_1 = \frac{5V - 0,7V}{0,8k\Omega \times (50 + 1) + 2k\Omega} = \frac{4,3V}{42,8k\Omega} = 0,10 \text{ mA}$$

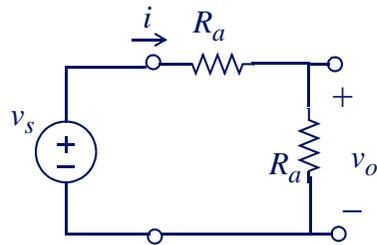
Y finalmente

$$i_B = i_1 \quad i_B \cong 0,10 \text{ mA}$$

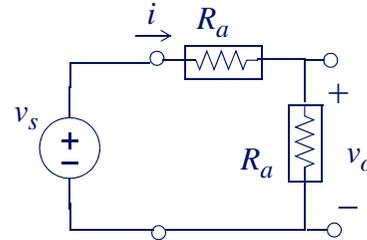
$$v_{N1} = R_1 i_1 + V_B \quad v_{N1} \cong 2k\Omega \times 0,10 \text{ mA} + 0,7V \cong 0,9V$$

## CIRCUITOS CON ELEMENTOS DINÁMICOS

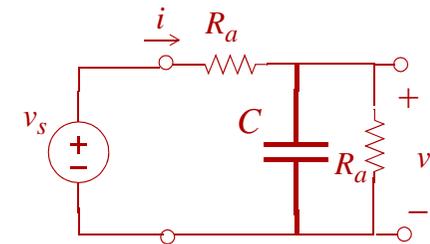
Modelo para baja frecuencia



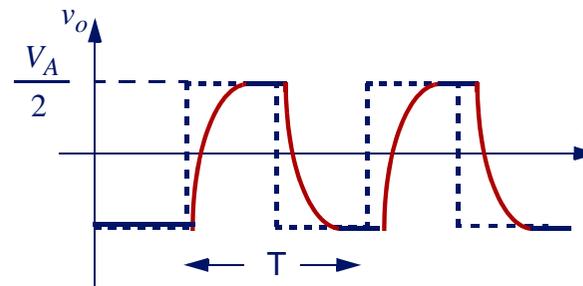
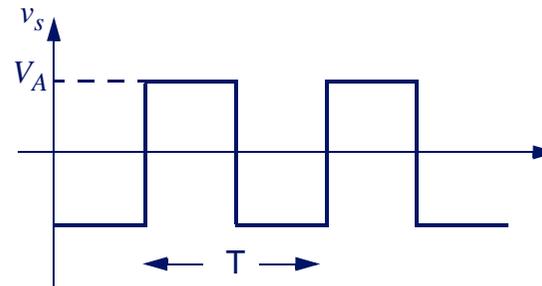
Circuito con resistencias reales



Modelo para alta frecuencia



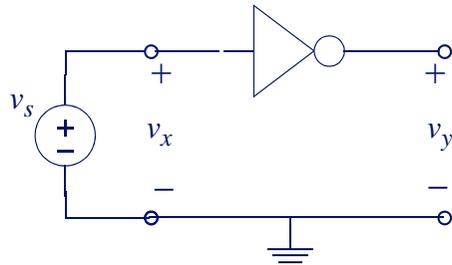
COMPORTAMIENTO DINÁMICO



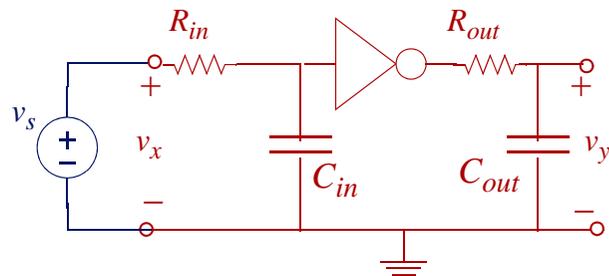
..... T grande    **COMPORTAMIENTO A BAJA FRECUENCIA**  
 ————— T pequeño    **COMPORTAMIENTO A ALTA FRECUENCIA**

## MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE PUERTAS LÓGICAS

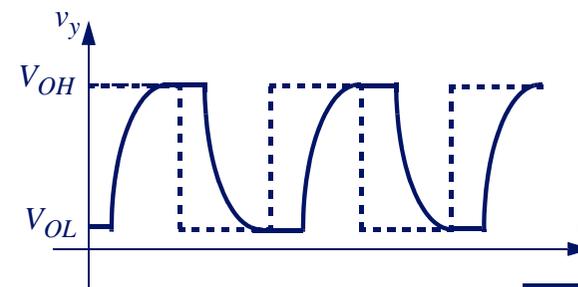
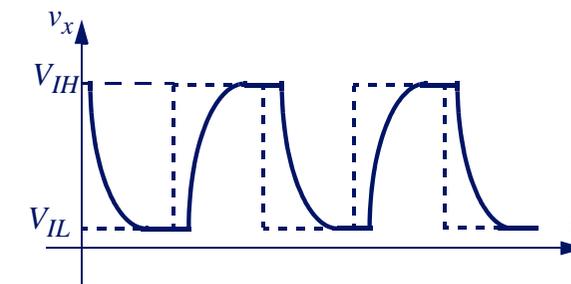
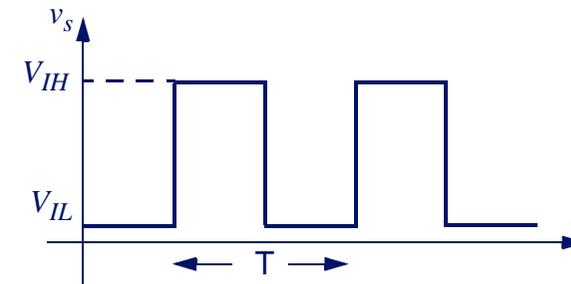
Puerta lógica real



Modelo para alta frecuencia  
con elementos de circuito  
y puerta lógica ideal



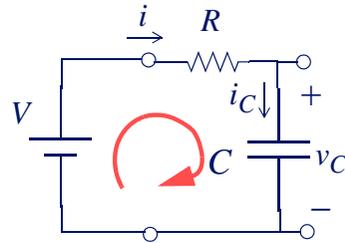
COMPORTAMIENTO DINÁMICO



— Real  
- - - Ideal

## CIRCUITOS CON ELEMENTOS DINÁMICOS: CIRCUITO RC

### ● ANÁLISIS TRANSITORIO: CARGA Y DESCARGA DE CONDENSADORES



$$iR + v_C - V = 0 \rightarrow i = \frac{V - v_C}{R}$$

$$i_C = i \rightarrow C \frac{dv_C}{dt} = \frac{V - v_C}{R}$$

*Ecuación diferencial lineal  
de primer orden  
con coeficientes constantes*

$$\frac{dv_C}{dt} + \frac{v_C}{RC} - \frac{V}{RC} = 0$$

*Solución*  $v_C = Ke^{-\alpha t} + \beta$  donde  $K$ ,  $\alpha$  y  $\beta$  son constantes por determinar

*Dada esta solución y por tanto que*  $\frac{dv_C}{dt} = -\alpha Ke^{-\alpha t}$ , *sustituyendo ambas en la ecuación diferencial*

$$-\alpha Ke^{-\alpha t} + \frac{Ke^{-\alpha t} + \beta}{RC} - \frac{V}{RC} = 0 \rightarrow \left(\frac{K}{RC} - \alpha K\right)e^{-\alpha t} + \frac{\beta}{RC} - \frac{V}{RC} = 0$$

*Esta expresión ha de ser válida para cualquier valor*

*de la variable  $t$  por lo que se ha de cumplir simultáneamente que*

$$\begin{cases} \left(\frac{K}{RC} - \alpha K\right) = 0 & \rightarrow \alpha = \frac{1}{RC} \\ \frac{\beta}{RC} - \frac{V}{RC} = 0 & \rightarrow \beta = V \end{cases}$$

*Con lo que hemos determinado el valor de dos de las tres constantes de forma que la solución puede escribirse ahora*

$$v_C = Ke^{-\frac{t}{RC}} + V, K \text{ se calcula a partir de la condición inicial } v_C(t=0) = v_0. \rightarrow K = v_0 - V$$

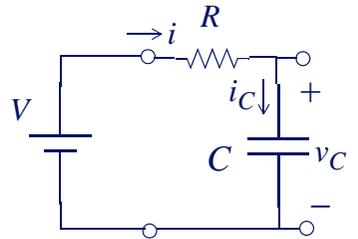
*Finalmente*

$$v_C = (v_0 - V)e^{-\frac{t}{RC}} + V \quad i_C = \left(\frac{V - v_0}{R}\right)e^{-\frac{t}{RC}}$$

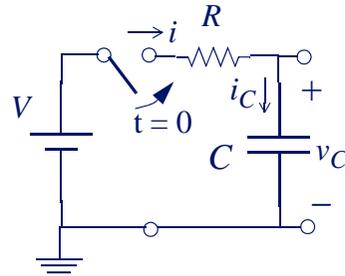
## CIRCUITOS CON ELEMENTOS DINÁMICOS: CIRCUITO RC

### ● CARGA Y DESCARGA DE CONDENSADORES

$$v_C = (v_0 - V)e^{-\frac{t}{RC}} + V$$

$$i_C = \left(\frac{V - v_0}{R}\right)e^{-\frac{t}{RC}}$$


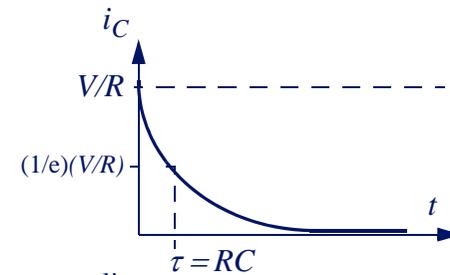
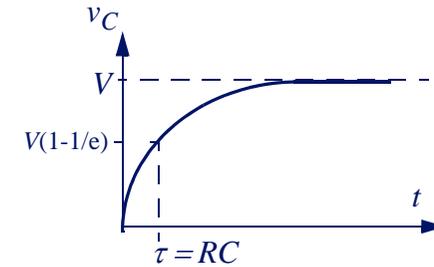
**Carga del condensador**  $v_0 = 0$



$\tau = RC$  constante de tiempo

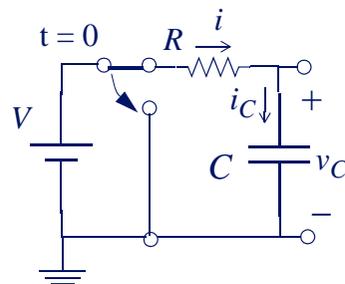
$$v_C = V\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$i_C = \frac{V}{R}e^{-\frac{t}{RC}}$$



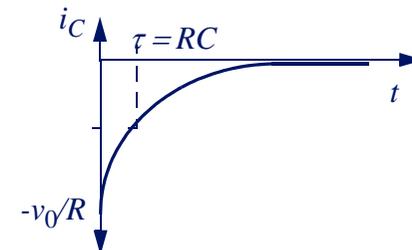
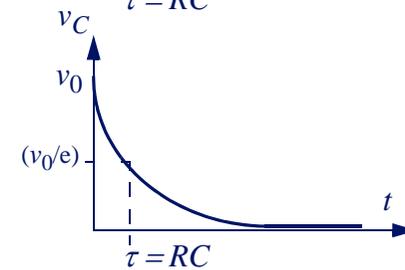
**Descarga del condensador**

$$V = 0 \quad v_C(t=0) = v_0$$



$$v_C = v_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

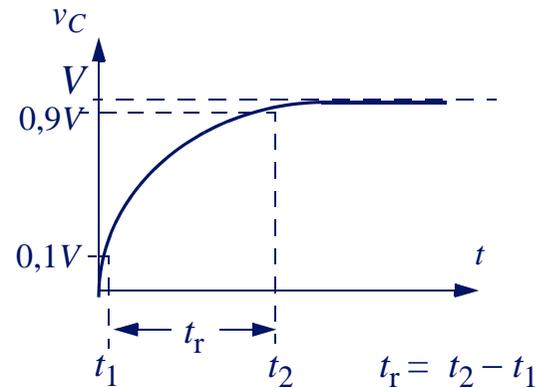
$$i_C = -\frac{v_0}{R}e^{-\frac{t}{RC}}$$



## CARGA Y DESCARGA DE CONDENSADORES

- **Tiempo de Subida  $t_r$**

*Carga del condensador*



*Cálculo de  $t_r$*

$$\tau_r = CR_C \text{ constante de tiempo durante la carga} \quad v_C = V \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_r}} \right)$$

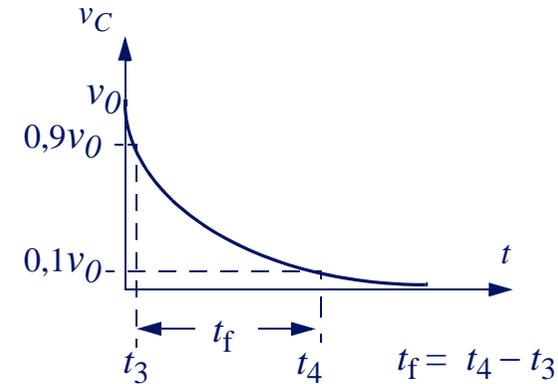
$$0,1V = V \left( 1 - e^{-\frac{t_1}{\tau_r}} \right) \longrightarrow t_1 \approx 0,1\tau_r$$

$$0,9V = V \left( 1 - e^{-\frac{t_2}{\tau_r}} \right) \longrightarrow t_2 \approx 2,3\tau_r$$

$$t_r \approx 2,2\tau_r$$

- **Tiempo de bajada  $t_f$**

*Descarga del condensador*



*Cálculo de  $t_f$*

$$\tau_f = CR_D \text{ constante de tiempo durante la descarga} \quad v_C = v_0 e^{-\frac{t}{\tau_f}}$$

$$0,9v_0 = v_0 e^{-\frac{t_3}{\tau_f}} \longrightarrow t_3 \approx 0,1\tau_f$$

$$0,1v_0 = v_0 e^{-\frac{t_4}{\tau_f}} \longrightarrow t_4 \approx 2,3\tau_f$$

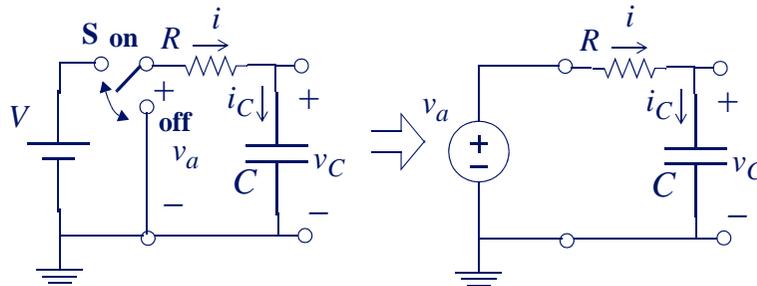
$$t_f \approx 2,2\tau_f$$

## CIRCUITOS CON ELEMENTOS DINÁMICOS: CIRCUITO RC

### ● RESPUESTA A UN TREN DE PULSOS

Si el interruptor **S** conmuta con frecuencia  $f = 1/T$

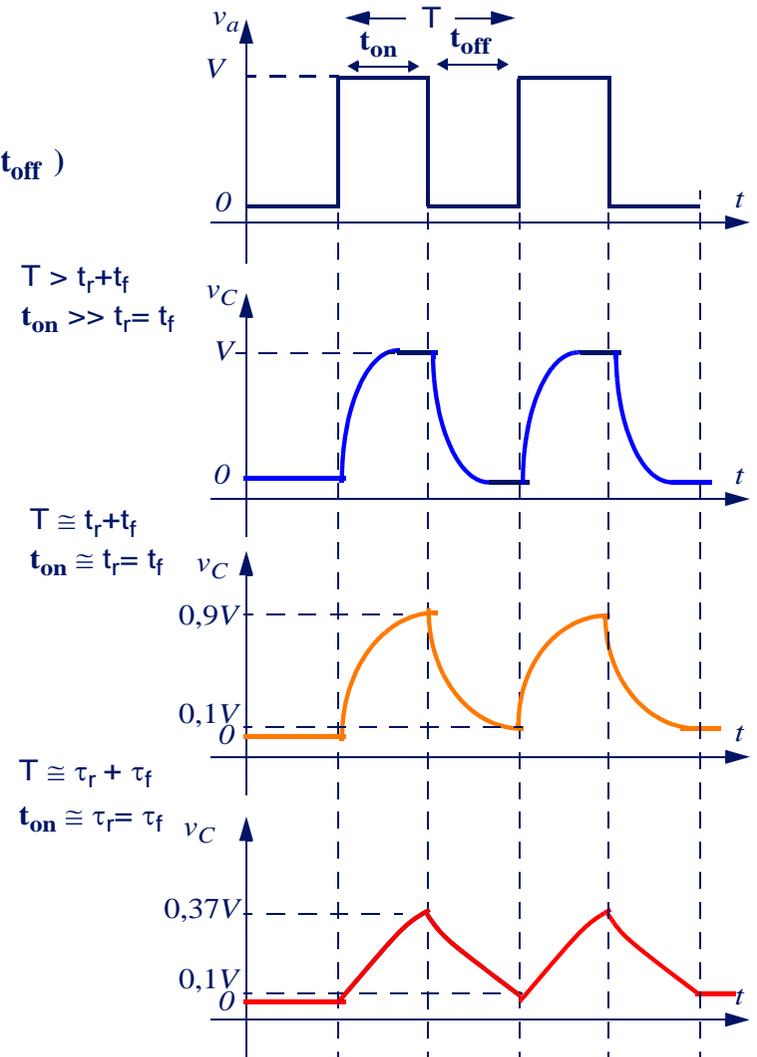
(supongamos por simplicidad que  $T = t_{on} + t_{off}$  y  $t_{on} = t_{off}$ )



Constante de tiempo  $\tau_f = \tau_r = CR$

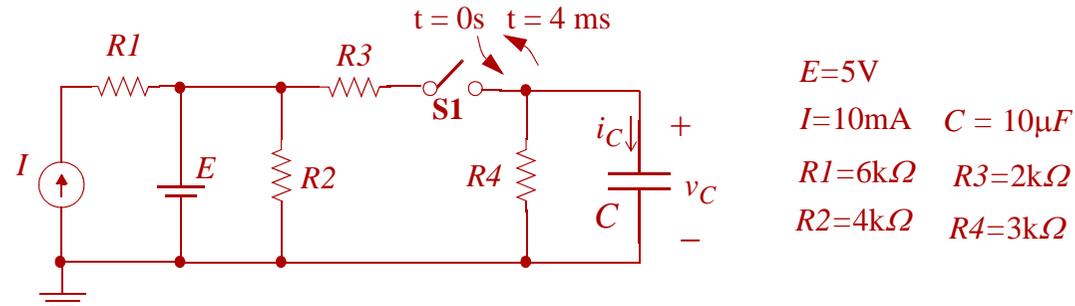
Tiempo de bajada  $t_f \approx 2, 2\tau_f$

Tiempo de subida  $t_r \approx 2, 2\tau_r$



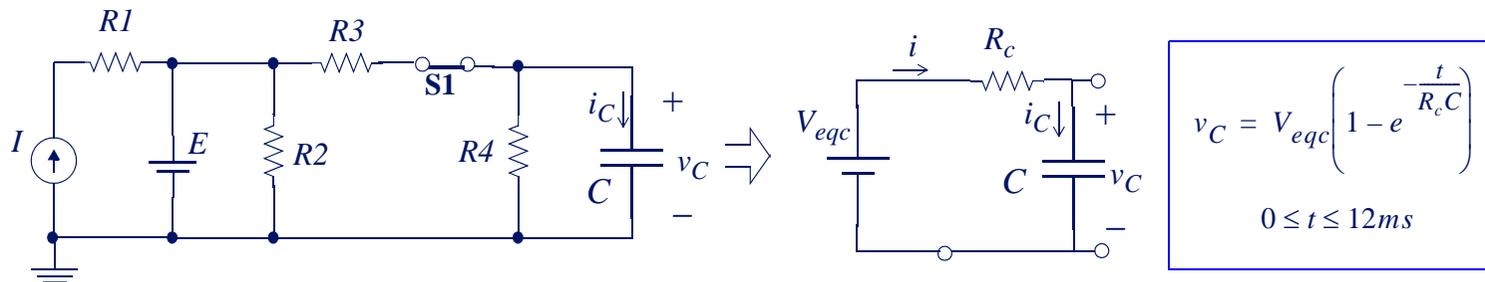
## CIRCUITOS CON ELEMENTOS DINÁMICOS: CIRCUITO RC. Ejemplo práctico

**Ejemplo:** En el circuito de la figura, el interruptor **S1** se cierra en el instante  $t = 0$  s, y se vuelve a abrir en el instante  $t = 12$  ms. Si inicialmente el condensador está descargado, encuentra la expresión de  $v_C(t)$  para  $t \geq 0$ . Dibuja esquemáticamente la forma de onda de  $v_C$



Según el enunciado para valores  $0 \leq t \leq 12ms$  el interruptor **S1** está cerrado, por lo que se tiene el siguiente circuito, donde el condensador, que esta inicialmente descargado comenzara a cargarse.

$$0 \leq t \leq 12ms \quad v_0 = v_C(0) = 0$$



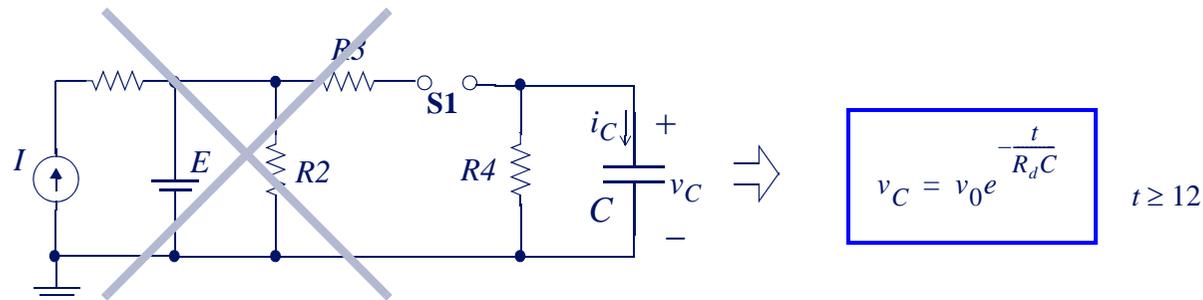
## CIRCUITOS CON ELEMENTOS DINÁMICOS: CIRCUITO RC. Ejemplo práctico

### *Ejemplo: (Continuación)*

Por otra parte, para  $t \geq 12\text{ms}$  el interruptor **S1** se abrirá por lo que se tendrá el siguiente circuito, donde ahora el condensador, que posee una carga inicial que corresponde al valor que en el caso anterior se alcanza en el instante  $t=12\text{ms}$ , se descargará.

Así, en este circuito de descarga, el instante inicial corresponde a  $t=12$  y por tanto  $v_0 = v_C(12)$  calculada a partir de la expresión obtenida en el caso anterior.

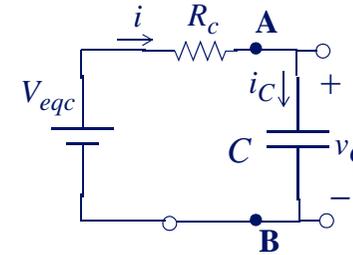
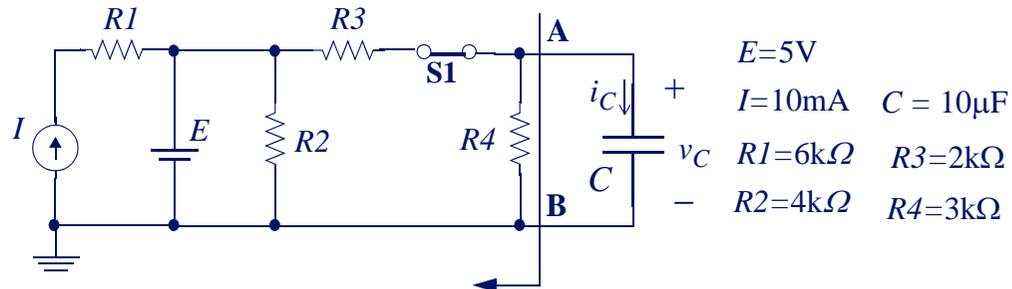
$$t \geq 12\text{ms} \quad v_0 = v_C(12) = V_{eqc} \left( 1 - e^{-\frac{12}{R_c C}} \right)$$



## CIRCUITOS CON ELEMENTOS DINÁMICOS: CIRCUITO RC. Ejemplo práctico

### Ejemplo: (Continuación)

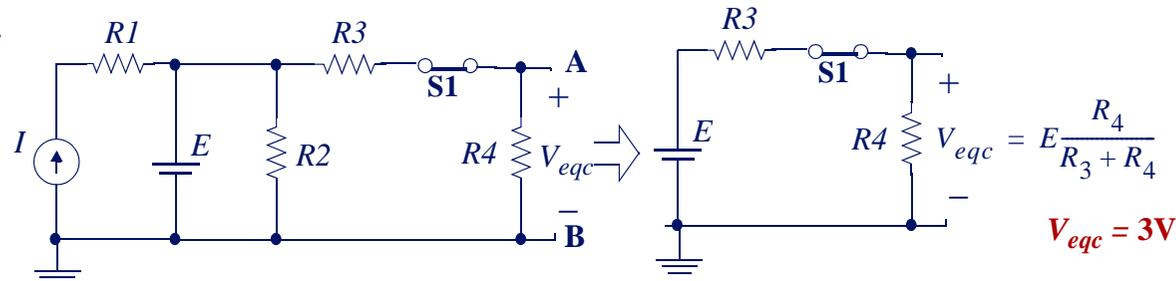
Durante el proceso de carga,  $0 \leq t \leq 12$  se tiene,  $v_0 = v_C(0) = 0$



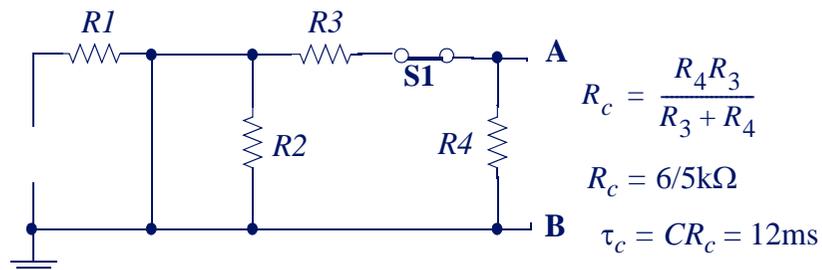
$$v_C(t) = V_{eqc} \left( 1 - e^{-\frac{t}{R_c C}} \right)$$

$V_{eqc}$  es la tensión Thevenin, mientras que  $R_c$  es la resistencia Thevenin visto desde los terminales A y B

#### - Cálculo de $V_{eqc}$



#### - Cálculo de $R_c$



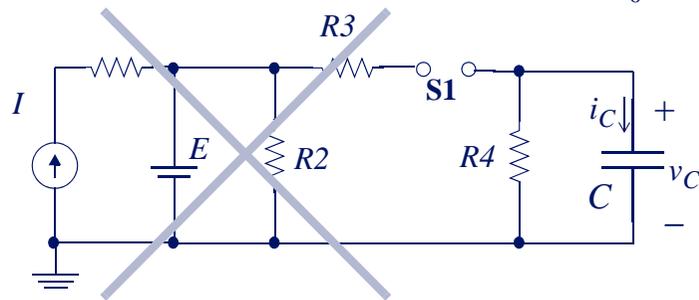
$$v_C(t) = 3 \left( 1 - e^{-\frac{t}{12}} \right)$$

$0 \leq t \leq 12ms$

## CIRCUITOS CON ELEMENTOS DINÁMICOS: CIRCUITO RC. Ejemplo práctico

### Ejemplo: (Continuación)

Durante el proceso de descarga,  $t \geq 12$  se tiene  $v_0 = v_C(12) = V_{eqc} \left( 1 - e^{-\frac{12}{R_d C}} \right) = 3(1 - e^{-1}) \approx 1,90V$



$$t \geq 12ms \quad \frac{t}{R_d C}$$

$$v_C(t) = v_0 e^{-\frac{t}{R_d C}}$$

$$R_d = R4 = 3k\Omega$$

$$\tau_d = CR_d = 30ms$$

$$v_C(t) = 1,90 e^{-\frac{t}{30}}$$

