# Tema 1.
# Repaso de Teoría de Circuitos
## "*esto es lo que hay que saber para empezar*"

**OBJETIVO**:
**Saber analizar circuitos lineales- tema aprendido en 1er curso**
(= Saber resolver y entender lo que se pide en la hoja de problemas 1 = (AUTOEVALUACIÓN !!).

Bibliografía: Microelectrónica, circuitos y dispositivos. M.H. Horestein. Prentice Hall.



## Repaso de Teoría de Circuitos: índice

## Conceptos preliminares

**ELECTRÓNICA:** Ciencia que estudia el movimiento de cargas en el vacío o en semiconductores.

**ELECTRÓNICA ANALÓGICA**: trabaja con valores continuos tanto de voltaje como de corriente (infinitos valores)

**ELECTRÓNICA DIGITAL:** trabaja con valores discretos (“0” y “1”) y finitos.

**CIRCUITO ELÉCTRICO:** modelo simplificado de una instalación real. Se utiliza para estudiar (análisis y síntesis) la respuesta de un sistema eléctrico ante un estímulo. Factores importantes: ***Señales de entrada, salida y función de transferencia***. Aplicable a circuitos lineales y cuasilineales.



## Conceptos preliminares

**SEÑALES**:

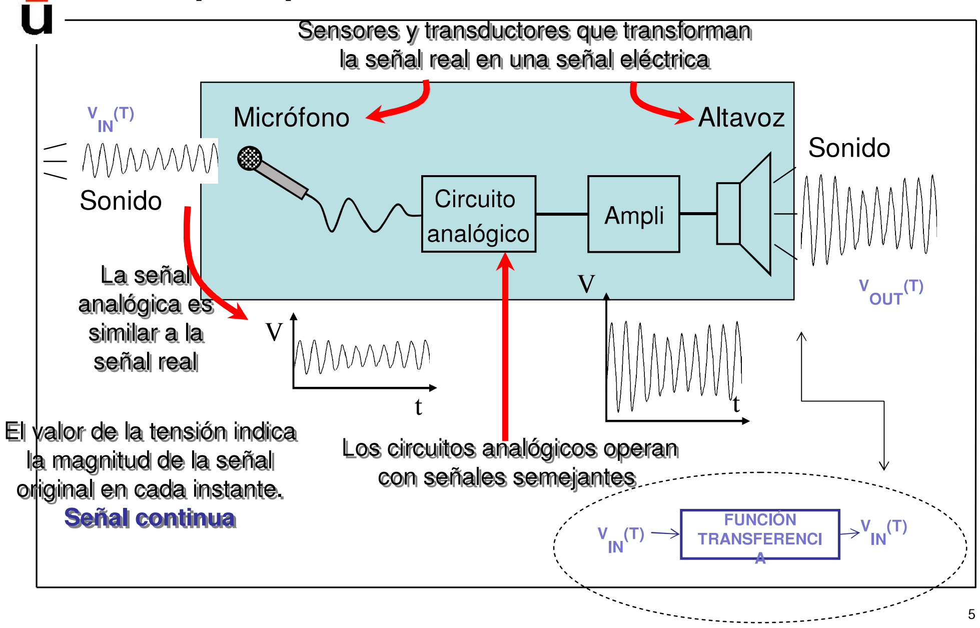
Las señales son cantidades que varían con el tiempo. Contienen información (sobre la presión, temperatura, señal acústica, etc.)

Los transductores convierten la señal a su forma electrónica (p.e. un termopar es un transductor de temperatura, un micrófono es un transductor de presión…).

La forma matemática de caracterizar las formas de onda de la señal es mediante la descomposición en funciones sinusoidales. Cualquier señal arbitraria siempre puede escribirse como suma de senos y cosenos (*Fourier*).

Una señal sinusoidal queda caracterizada con su amplitud (A) y su frecuencia (f). $v(t) = Asen(wt)$

## Conceptos preliminares



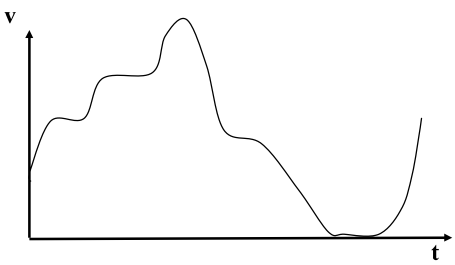


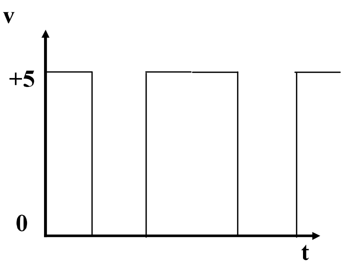

## Conceptos preliminares

Las señales pueden ser **analógicas** y **digitales**

señales analógicas: pueden tomar cualquier valor

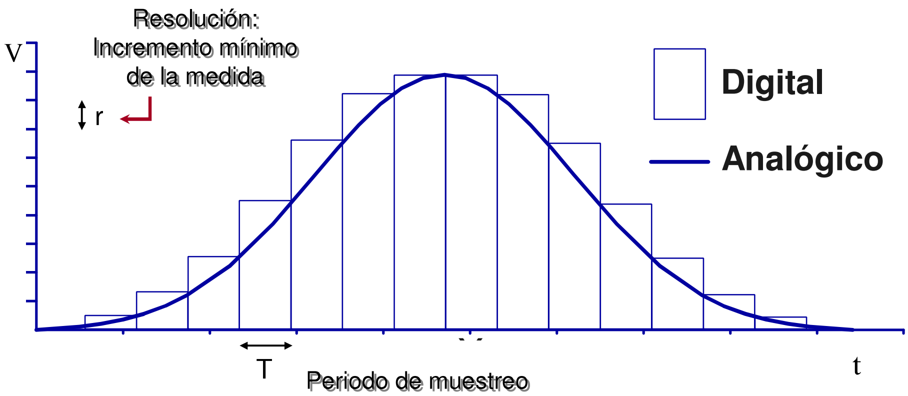
señales digitales: solo puede tomar ciertos valores (“0” y “1” típicamente)



## Conceptos preliminares

Cada cierto tiempo (T) mido cuanto vale la tensión




Digital: Discontinua en tiempo

Digital: Discontinua en amplitud



## Conceptos preliminares

Señal analógica

Señal digital

Compuesta de varios bits


Señal continua en tiempo y amplitud

Señal discontinua en tiempo y amplitud

La resolución dependerá de las *divisiones de mi regla* para medir la señal

A más resolución mayor número de bits

## Conceptos preliminares

**VARIABLES FUNDAMENTALES: I, V y P**

Convenios de signos. Múltiplos y submúltiplos.

**ELEMENTOS DE UN CIRCUITO**:

Son los modelos matemáticos de los dispositivos físicos reales de un circuito. Modelos de parámetros concentrados.

Activos: fuente de tensión/corriente - continua/alterna – dependientes/independientes.

Pasivos: R,L,C.

Relación entre voltaje y corriente en cada uno de estos elementos. Potencia y energía.



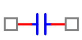
## Conceptos preliminares

**ELEMENTOS DE UN CIRCUITO**

Los elementos pasivos que podemos encontrar en un circuito:

Para señales sinusoidales: $V=V_o \exp(jwt)$, $I=I_o \exp(jwt)$

**Resistencia**  **V =IR**

**Condensador**  **$I=C dV/dt \Rightarrow Z_c=V/I \Rightarrow Z_c=1/jwC$**

**Bobina**  **$V=L dI/dt \Rightarrow Z_L=V/I \Rightarrow Z_L= jwL$**

# Leyes fundamentales: Leyes de Kirchoff

Ley de conservación de la carga y la energía para describir relación voltaje-corriente en cualquier red, lineal o no:

1ª.- La suma de caídas de voltaje alrededor de cualquier lazo cerrado es cero.

2ª.- La suma de todas las corrientes que entren en cualquier nodo de un circuito es igual a cero.

**Nodo**: Punto donde se conectan tres o más conductores.

**Rama**: Elemento o grupo de elementos con 2 terminales. Tramo entre dos nudos

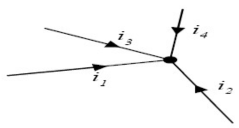
**Malla/lazo**: cualquier camino cerrado que pueda se definido en el circuito.

**Resolver** un circuito: calcular todas las i que circulan por cada elemento del circuito. NO hay una única forma de resolverlo.



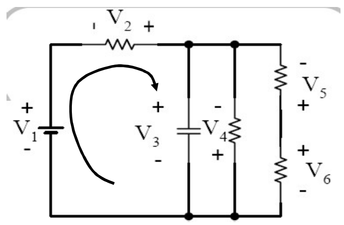
# Leyes fundamentales: Leyes de Kirchoff

$i_1+i_2+i_3+i_4=0$




Ejemplo

Regla general: corrientes entrantes porsitivas y salientes negativas




$V_1-V_2+V_3=0$

Regla general: caída de V positiva y subida" de V negativa

## Principio de superposición

**ELEMENTO LINEAL**: aquel cuya característica v-i es de la forma:

$$v = a \cdot i_1 + b \cdot i_2 \quad \text{ó} \quad i = c \cdot v_1 + d \cdot v_2$$

con a, b, c, d constantes.

En general a, b, c, d pueden ser operadores lineales (derivada o integral) ⇒ la característica v-i es de la forma:

$$v = a\frac{di_1}{dt} + b\int i_2 dt$$

**PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN**: en todo sistema lineal, la respuesta del circuito debida a una suma de entradas, será igual a la suma de las respuestas de cada una de las entradas aplicadas individualmente.

Notar que podemos aplicar superposición aunque no todas las fuentes se apliquen en la misma localización.



## Ejemplo 1: Determinar la tención $v_x$ en el circuito de la figura 1, a) aplicando el principio de superposición y b) directamente.

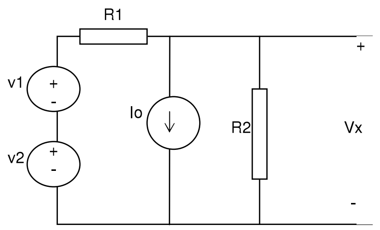



**Figura 1**

Sol.

$V_x = (v_1+v_2)(R_2/(R_1+R_2))-I_o(R_1R_2)/(R_1+R_2) = 7V$

## Teoremas de reducción de circuitos

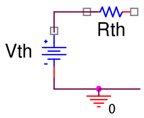
**Equivalente de Thévenin**:

Cualquier circuito resistivo (contiene únicamente resistencias y fuentes) puede ser representado por un circuito más sencillo, formado sólo por una sola fuente de voltaje y una resistencia en serie. Este circuito se denomina "Equivalente de Thévenin" del circuito original.

$V_{th}$ representa todas las fuentes.
$R_{th}$ representa todas las resistencias.

Circuito Complejo

Ambos circuitos tienen el mismo comportamiento






## Teoremas de reducción de circuitos

Metodo para calcular el equivalente de thévenin:

**$V_{th}$**:

1- Se desconecta la parte no lineal (diodo, transistor,…)

2- El voltaje en abierto es $V_{th}$. $V_{oc}$ =Vth

**$R_{th}$**: dos formas:

3- Se cortocircuitan los bornes

4- Se halla la corriente de cortocircuito isc

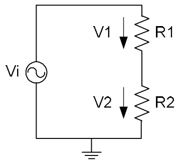
4- Se calcula $R_{th} = V_{th}/i_{sc}$

Ó se hacen cero las fuentes del circuito y se calcula la resistencia que se ve desde el puerto.

# Divisores de tensión y voltaje

**Divisor de tensión**:

Las impedancias son atravesadas por la misma corriente

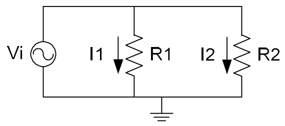



$$I_1 = I_2 = \frac{V_i}{R_1 + R_2} \quad V_1 = I_1 \cdot R_1 ; V_2 = I_2 \cdot R_2$$

$$V_1 = \frac{R_1 \cdot V_i}{R_1 + R_2}; \qquad V_2 = \frac{R_2 \cdot V_i}{R_1 + R_2}$$

**Divisor de corriente**:

Las impedancias está sometidas a la misma tensión




$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 ; I_i = I_1 + I_2$$

$$I_1 = I_i - I_2 = I_i - I_1 \frac{R_1}{R_2}$$

$$I_1 = \frac{R_2 \cdot I_i}{R_1 + R_2} \; ; I_2 = \frac{R_1 \cdot I_i}{R_1 + R_2}$$



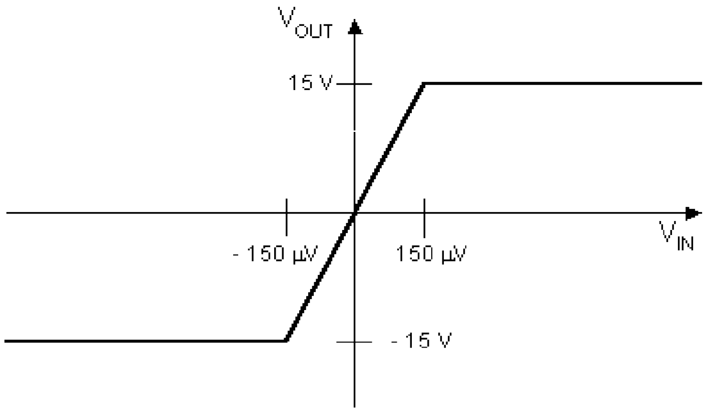
# Característica I-V.

**Característica I-V** de un elemento de un circuito:

Describe la relación entre la corriente que circula por el elemento y el voltaje a través de sus terminales.

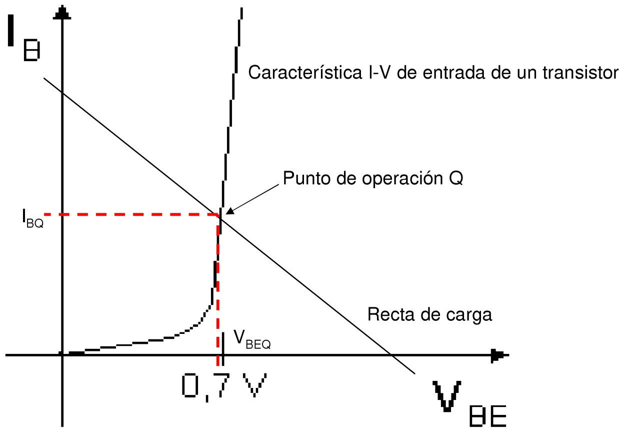
Fundamental: entender **qué nos dice** una gráfica.

# Ejemplos:

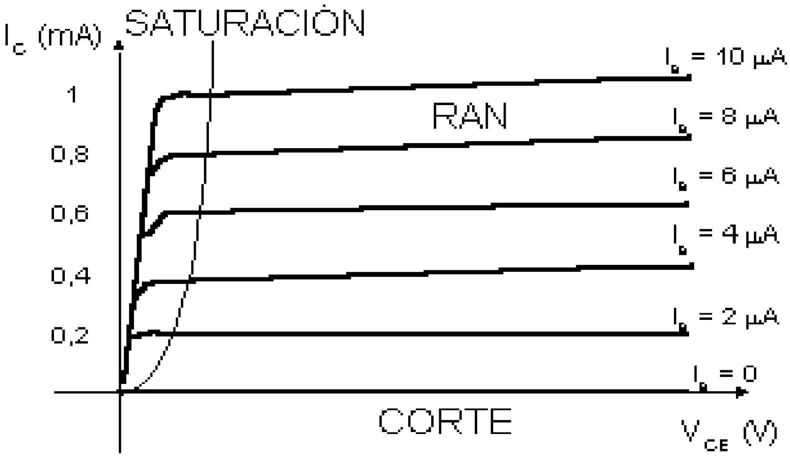





# Ejemplos:



## Ejemplos:






## Recta de carga:

- Característica v-i de un elemento o puerto de un circuito que describe la relación entre la corriente que circula por el elemento y el voltaje a través de sus terminales
- Gráfica I-V **determina todos los puntos de operación permitidos** por dicho dispositivo.

Ejemplo: Hallar la característica v-i de los terminales Vx del circuito de la figura 1 (transparencia nº 14)

Sistema lineal: característica v-i es una recta
Con las tres fuentes aplicadas: la recta no pasa por el origen
Calculo cortes con los ejes: Voc =7V
isc= 2.1 mA
Ix= (-0.3Vx + 2.1) mA



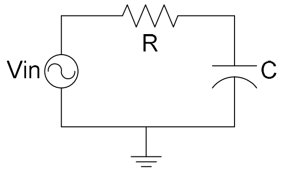
# Circuitos RC: Circuitos de 1er orden

**Circuitos de primer orden:** Son circuitos caracterizados por una ecuación diferencial de primer orden. Cualquier circuito formado por un conjunto cualquiera de resistencias y fuentes independientes y un solo elemento almacenador de energía (L ó C) es de 1er orden.

**Régimen transitorio:** Solución a la ec.dif. homogénea, que es la respuesta natural del sistema.

**Régimen permanente:** Solución a la ec.dif. completa, que es la respuesta del sistema forzada por una excitación exterior.

**Ejemplo 1: Circuito RC**




Homogénea:

$$R\cdot i(t) + \frac{1}{C}\int_0^t i(t)dt = 0$$

Completa:

$$v_{in}(t) = R\cdot i(t) + \frac{1}{C}\int_0^t i(t)dt$$

# Circuitos RC: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 1: Circuito RC**

Solución homogénea: $R \cdot i(t) + \frac{1}{C}\int_0^t i(t)dt = 0;$

Condiciones iniciales: $u_C(0) = V_0;\ v_{in}(t) = 0\ \ i(0) = \frac{V_0}{R}$

Solución tipo: $i(t) = K \cdot e^{\lambda t}$

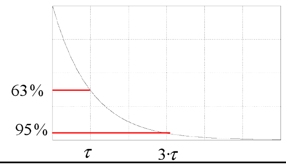
$$\Rightarrow\ i(t) = \frac{V_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Tensión en el condensador:

$$u_c(t) = \frac{1}{C}\int_0^t i(t)dt \qquad \left.\begin{aligned} u_C(t) &= V_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + Cte \\ u_C(0) &= V_0 \end{aligned}\right\} \Rightarrow\ Cte = 0 \quad u_C(t) = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Constante de tiempo:

$$\tau = RC;\ \omega = \frac{1}{\tau} = 2\pi \cdot f$$






# Circuitos RC: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 1: Circuito RC**

Solución completa. Excitación escalón (habitual en electrónica):

$$v_{in}(t) = R \cdot i(t) + \frac{1}{C}\int_0^t i(t)dt$$

Condiciones iniciales: $u_C(0) = V_0;\ v_{in}(t) = V_{in};\ i(0) = \frac{V_{in} - V_0}{R}$

Solución tipo: $i(t) = K \cdot e^{\lambda t}$

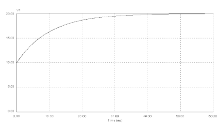
$$\Rightarrow\ i(t) = \frac{V_{in} - V_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Tensión en el condensador:

$$u_C(t) = \frac{1}{C}\int_0^t i(t)dt \qquad u_C(t) = (V_0 - V_{in}) \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + Cte \ \Rightarrow\ u_C(t) = (V_0 - V_{in}) \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + V_{in}$$

Solución genérica a los sistemas de 1er orden:

$$f(t) = [f(0) - f_\infty(0)] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + f_\infty(t)$$



## Circuitos RC: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 1: Circuito RC**

Solución completa. Excitación senoidal. Características de las funciones senoidales:

1.- La respuesta en régimen permanente de un circuito lineal con excitación senoidal es una función senoidal de igual frecuencia. La amplitud y la fase puede variar.

2.- La suma de funciones senoidales de igual frecuencia es una función senoidal de igual frecuencia. La amplitud y la fase puede variar.

3.- La derivada de una senoide es de forma senoidal, y su integral.

4.- Mediante la descomposición en serie de Fourier cualquier función periódica puede representarse como una combinación lineal de un número finito de funciones senoidales.

5.- Los alternadores generan tensión con forma senoidales. Es una forma de onda fácil de obtener.



## Circuitos RC: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 1: Circuito RC**

Solución analítica a la completa. Excitación senoidal:

$$v_{in}(t) = R\cdot i(t) + \frac{1}{C}\int_0^t i(t)dt \quad \text{siendo } v_{in}(t) = V_{in}\cdot\cos(\omega t + \varphi_v)$$

Solución tipo: $i(t) = I_{in}\cdot\cos(\omega t + \varphi_i)$

$$R\cdot I_{in}\cos(\omega t + \varphi_i) + \frac{1}{\omega C} I_{in}\sin(\omega t + \varphi_i) = V_{in}\cdot\cos(\omega t + \varphi_v)$$

Particularizando para: $\omega t = 0;\ \omega t = \frac{\pi}{2}$

$$\left.\begin{aligned} R\cdot I_{in}\cos(\varphi_i) + \frac{1}{\omega C} I_{in}\sin(\varphi_i) &= V_{in}\cdot\cos(\varphi_v) \\ R\cdot I_{in}\sin(\varphi_i) - \frac{1}{\omega C} I_{in}\cos(\varphi_i) &= V_{in}\cdot\sin(\varphi_v) \end{aligned}\right\} \Rightarrow I_{in}, \varphi_i$$

(mediante métodos numéricos, vectorialmente ó mediante complejos)

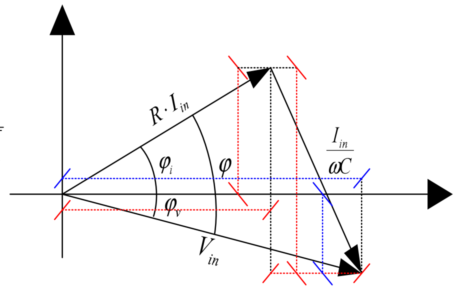
# Circuitos RC: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 1: Circuito RC**

Resolución vectorialmente.

Módulo:

$$V_{in} = \sqrt{R^2 \cdot I_{in}^2 + \frac{I_{in}^2}{(\omega C)^2}} \Rightarrow I_{in} = \frac{V_{in}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}}$$




Argumento:

$$\varphi_i = \varphi_v - \varphi; \quad \varphi = arctg \frac{1}{\omega RC}$$

Solución:

$$i(t) = \frac{V_{in}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}} \cdot \cos(\omega t + \varphi_v - \varphi) \Leftrightarrow u_C(t) = \frac{V_{in}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}} \cdot \frac{1}{\omega C} \cdot sen(\omega t + \varphi_v - \varphi) + Cte$$

**Método muy laborioso y difícil para circuitos más complicados**



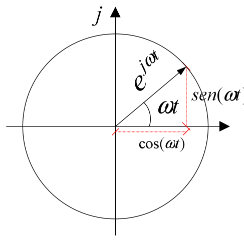
# Circuitos RC: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 1: Circuito RC**

Resolución mediante complejos

Euler: $e^{j\omega t} = \cos(\omega t) + j\,sen(\omega t) \qquad \cos(\omega t) = \mathrm{Re}\left[e^{j\omega t}\right]$

$e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) - j\,sen(\omega t) \qquad sen(\omega t) = \mathrm{Im}\left[e^{j\omega t}\right]$




Solución tipo:

$$i(t) = I_{in} \cdot \cos(\omega t + \varphi_i) = I_{in} \cdot \mathrm{Re}\left[e^{j(\omega t + \varphi_i)}\right] = I_{in} \cdot \mathrm{Re}\left[e^{j\varphi_i}\right] \cdot e^{j\omega t}$$

Solución para régimen senoidal permanente

$$R \cdot I_{in} e^{j\varphi_i} e^{j\omega t} + \frac{1}{C}\frac{1}{j\omega} I_{in} e^{j\varphi_i} e^{j\omega t} = V_{in} \cdot e^{j\varphi_v} e^{j\omega t}$$

$$I_{in} e^{j\varphi_i} = \frac{V_{in}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \cdot e^{j\varphi_v}; \quad I_{in} e^{j\varphi_i} = \frac{V_{in}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}} \cdot e^{j(\varphi_v - \varphi)} \Rightarrow I_{in} \mathrm{Re}\left[e^{j\varphi_i}\right] = \frac{V_{in}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}} \cdot \mathrm{Re}\left[e^{j(\varphi_v - \varphi)}\right]$$

# Circuitos RC: Circuitos de 1er orden

Respuesta de los elementos pasivos básicos al régimen senoidal permanente:

$$u(t) = V_{in} \cdot e^{j\varphi_V} e^{j\omega t}; \quad i(t) = I_{in} \cdot e^{j\varphi_i} e^{j\omega t}$$

**Resistencia**

$$u(t) = R \cdot i(t)$$

$$V_{in} \cdot e^{j\varphi_V} e^{j\omega t} = R \cdot I_{in} \cdot e^{j\varphi_i} e^{j\omega t}$$

$$R = \frac{V_{in}}{I_{in}}$$

$$\varphi_V = \varphi_i$$

Corriente y la tensión en fase

**Bobina**

$$u(t) = L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$V_{in} \cdot e^{j\varphi_V} e^{j\omega t} = j\omega L \cdot I_{in} \cdot e^{j\varphi_i} e^{j\omega t}$$

$$V_{in} \cdot e^{j\varphi_V} = \omega L \cdot I_{in} \cdot e^{j\varphi_i + \pi/2}$$

$$V_{in} = \omega L \cdot I_{in}$$

$$Z_L = j\omega L$$

$$\varphi_V = \varphi_i + \pi/2$$

La corriente retrasa 90º a la tensión

**Condensador**

$$i(t) = C \cdot \frac{du}{dt}$$

$$I_{in} \cdot e^{j\varphi_i} e^{j\omega t} = j\omega C \cdot V_{in} \cdot e^{j\varphi_V} e^{j\omega t}$$

$$I_{in} \cdot e^{j\varphi_i} = \omega C \cdot V_{in} \cdot e^{j\varphi_V + \pi/2}$$

$$I_{in} = \omega C \cdot V_{in}$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

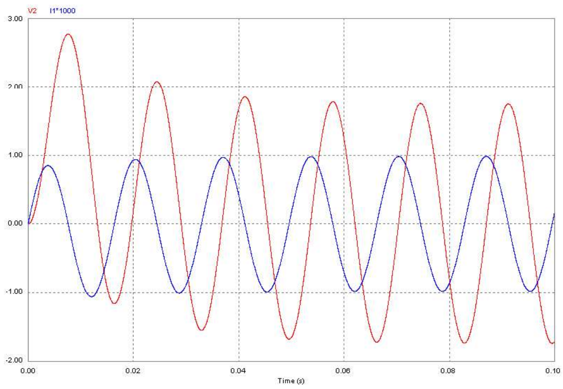
$$\varphi_i = \varphi_V + \pi/2$$

La corriente adelanta 90º a la tensión



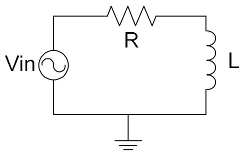
# Circuitos RC: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 1: Circuito RC** F= 60 Hz; R=10K; C= 1,5uF



# Circuitos RL: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 2: Circuito RL**




Homogénea:

$$R \cdot i(t) + L\frac{di}{dt} = 0$$

Completa:

$$v_{in}(t) = R \cdot i(t) + L\frac{di}{dt}$$

Solución a la homogénea (transitorio):

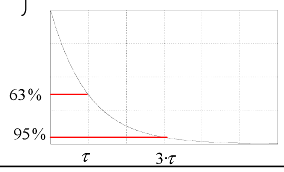
Condiciones iniciales: $i(0) = -I_0;\; v_{in}(t) = 0;\; u_L(0) = I_0 \cdot R$

Solución tipo: $i(t) = K \cdot e^{\lambda t}$

$$\Rightarrow \quad i(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot t}$$

Tensión en la resistencia: $u_L(t) = L \cdot \frac{di}{dt} = -I_0 R \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot t}$

Constante de tiempo: $\tau = \frac{L}{R};\; \omega = \frac{1}{\tau} = 2\pi \cdot f$






# Circuitos RL: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 2: Circuito RL**

Solución completa. Excitación escalón (habitual en electrónica):

$$v_{in}(t) = R \cdot i(t) + L\frac{di}{dt}$$

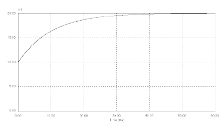
Condiciones iniciales y finales: $i(0) = I_0;\; v_{in}(t) = V_{in};\; i(\infty) = \frac{V_{in}}{R}$

Solución genérica a los sistemas de 1er orden: $f(t) = [f(0) - f_\infty(0)]e^{-\frac{t}{\tau}} + f_\infty(t)$

$$i(t) = \left[I_0 - \frac{V_{in}}{R}\right] \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot t} + \frac{V_{in}}{R}$$

Tensión en la bobina:

$$u_L(t) = L\frac{di}{dt} \qquad u_L(t) = (V_{in} - R \cdot I_{in}) \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot t}$$



# Circuitos RL: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 2: Circuito RL**

Solución analítica a la completa. Excitación senoidal:

$$v_{in}(t) = R \cdot i(t) + L\frac{di}{dt} \qquad \text{siendo } v_{in}(t) = V_{in} \cdot \cos(\omega t + \varphi_v)$$

Solución tipo: $i(t) = I_{in} \cdot \cos(\omega t + \varphi_i)$

$$R \cdot I_{in}\cos(\omega t + \varphi_i) - \omega L \cdot I_{in}\sin(\omega t + \varphi_i) = V_{in} \cdot \cos(\omega t + \varphi_v)$$

Particularizando para: $\omega t = 0;\ \omega t = \frac{\pi}{2}$

$$\left.\begin{aligned} R \cdot I_{in}\cos(\varphi_i) - \omega L \cdot I_{in}\sin(\varphi_i) &= V_{in} \cdot \cos(\varphi_v) \\ R \cdot I_{in}\sin(\varphi_i) + \omega L \cdot I_{in}\cos(\varphi_i) &= V_{in} \cdot \sin(\varphi_v) \end{aligned}\right\} \Rightarrow I_{in}, \varphi_i$$



# Circuitos RL: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 2: Circuito RL**

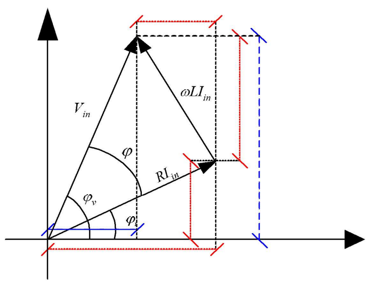
Resolución vectorialmente.

Módulo:

$$V_{in} = \sqrt{R^2 \cdot I_{in}^2 + (\omega L)^2 \cdot I_{in}^2} \Rightarrow I_{in} = \frac{V_{in}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

Argumento:

$$\varphi_i = \varphi_v - \varphi; \quad \varphi = arctg\frac{\omega L}{R}$$

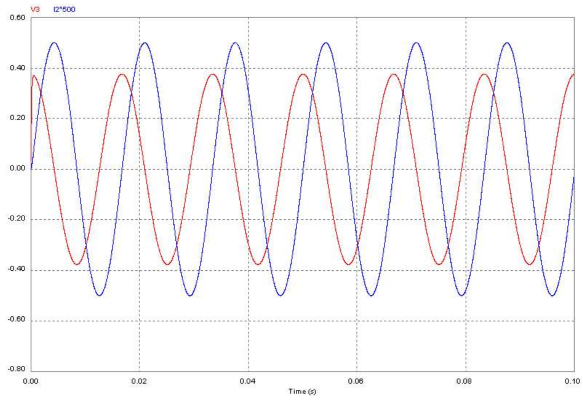



Solución:

$$i(t) = \frac{V_{in}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cdot \cos(\omega t + \varphi_v - \varphi) \Leftrightarrow u_L(t) = -\frac{V_{in}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cdot \omega L \cdot sen(\omega t + \varphi_v - \varphi)$$

## Circuitos RL: Circuitos de 1er orden

**Ejemplo 2: Circuito RL** F= 60 Hz; R=10K; L= 1,5mH






## Circuitos RC en el régimen sinusoidal permantente: Objetivo

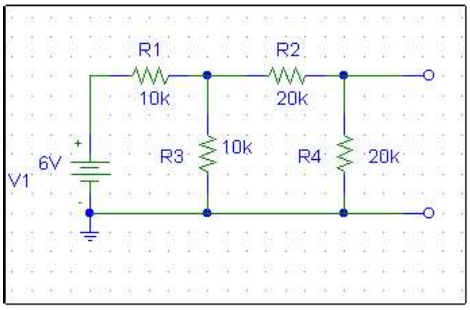
**Saber la información que da una función de transferencia compleja**
**Ej: hoja 1**

## Uso de simulación de circuitos

- ✓ **Herramienta FUNDAMENTAL en el diseño de sistemas electrónicos.**
- ✓ **Te será muy útil en esta y otras asignaturas del grado.**
- ✓ **Usaremos la herramieta "Cadence OrCAD Capture and Capture CIS " de Cadence.(http://www.cadence.com/products/orcad/orcad_capture/pages/default.aspx)**
- ✓ **El paquete completo está instalado en el aula de ordenadores 9 y 10.**
- ✓ **Puedes conseguir una demo (pon "orcad download" en google y sigue los pasos)**

## HOJA DE EJERCICIOS DEL TEMA 1 (CIRCUITOS LINEALES)

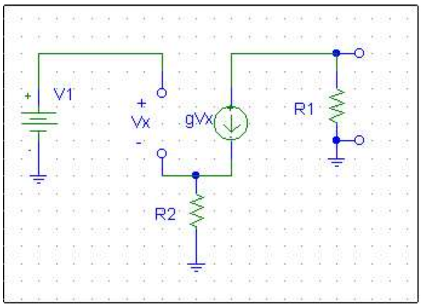
**Problema 1.** Utilizando las leyes de Kirchhoff determinar el voltaje que cae en la resistencia $R_3$.




**Solución 1.**

$$V_3 = V_1\cdot\frac{\dfrac{R_3\cdot(R_2+R_4)}{R_2+R_3+R_4}}{R_1+\dfrac{R_3\cdot(R_2+R_4)}{R_2+R_3+R_4}} = 2{,}67V$$

**Problema 2.** Con ayuda de las leyes de Kirchhoff determinad el voltaje que cae en la resistencia $R_1$ en función de $R_1$, $R_2$, g y $V_1$. Hallar el circuito de thévenin entre $R_1$.

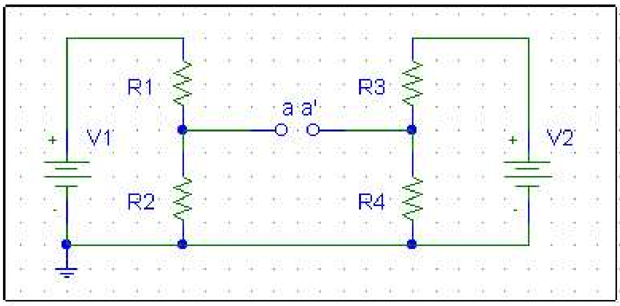



**Solución 2.**

$$V_{R1} = -g\cdot\frac{R_1\cdot V_1}{1+g\cdot R_2} = V_{TH}$$

$$R_{TH} = R_1$$

**Problema 3.** Determinad el voltaje de ciercuito abierto $V_A$, medido entre las terminales a-a'. Hallad la corriente de corto circuito medida entre estas terminales. $V_1$=12V, $V_2$=5V, R=10k.

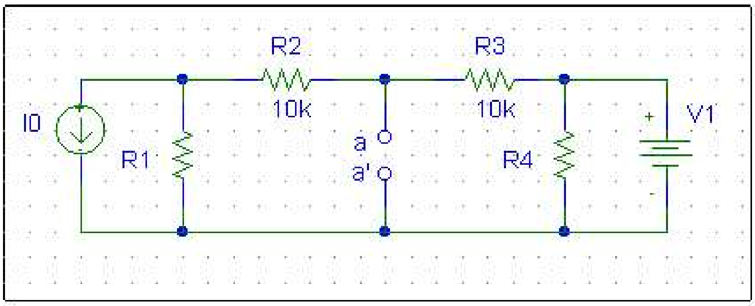



**Solución 3.**

$$V_A = V_a - V_{a'} = V_1\cdot\frac{R_2}{R_1+R_2} - V_2\cdot\frac{R_4}{R_3+R_4} = 3{,}5V$$

$$I_{cc} = 0{,}35mA$$

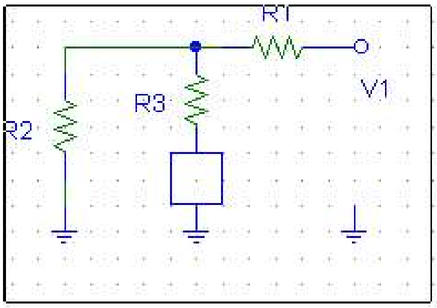
**Problema 4.** Aplicando el principio de superposición hallad la caida de potencia entre los terminales a-a'.




**Solución 4.**

$$V_{aa'} = \frac{V_1\cdot(R_1+R_2)+I_0(R_1\cdot R_3)}{R_1+R_2+R_3}$$

**Problema 5.** El circuito de la figura contiene un elemento desconocido (no lineal). Determinad el equivalente Thévenin de todo lo conectado a dicho elemento si $V_1$=10V, $R_1$ = 6kΩ, $R_2$ = 4kΩ y $R_3$ = 0.9 kΩ

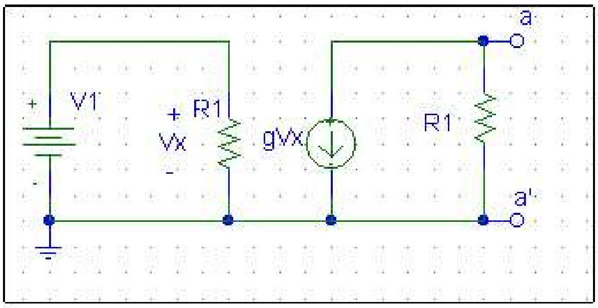



**Solución 5.**

$$V_{th} = V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3$$

**Problema 6.** Hallar el circuito equivalente de Thévenin entre a y a`, siendo $V_x$ la tensión que cae en $R_1$. Suponer una resistencia serie, $R_s$, asociada a la fuente $V_1$.

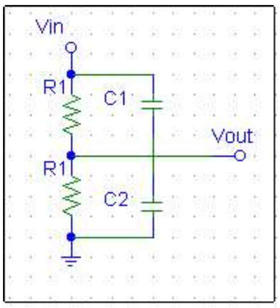



**Solución 6.**

$$V_{th} = -g \cdot \frac{R_1^2 V_1}{R_s + R_1}$$

$$R_{th} = R_1$$

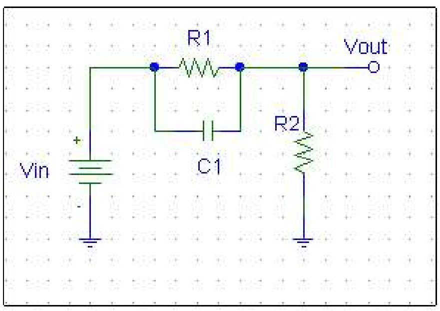
**Problema 8.** Encontrar la condición para la cual la relación $v_{out}/v_{in}$ resulta independiente de la frecuencia. ¿Cuál es dicha relación bajo esta condición?




**Solución 8.**

$$\frac{1 + jwR_2C_2}{1 + jwR_1C_1} = Cte \Rightarrow R_1C_1 = R_2C_2$$

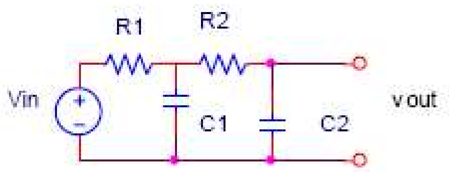
**Problema 9.** Hallar la relación entre $V_{out}$ y $V_{in}$ del circuito de la figura sabiendo que el voltaje de entrada es sinusoidal




**Solución 9.**

$$Vout = \frac{R_2 + jwC_1R_1R_2}{R_1 + R_2 + jwC_1R_1R_{21}} Vin$$

**Problema 10.** Hallar la función de transferencia del circuito de la figura, siendo Vin una fuente de tensión sinusoidal de frecuencia w.




**Solución 10.**

$$V_{out} = \frac{1}{1 - R_1 R_2 w_2 C_2 (C_1 - C_2) + jw(R_1 C_1 + R_2 C_2)} V_{in}$$