Tema 2 – Corriente alterna

2.1. Régimen transitorio: circuitos RC y RL.

2.2. Régimen estacionario del circuito RCL.

2.3. Números complejos.

2.4. Impedancia. Ley de Ohm.

2.5. Circuitos de corriente alterna.

2.6. Potencia.

2.7. Superposición de señales. Ancho de banda.

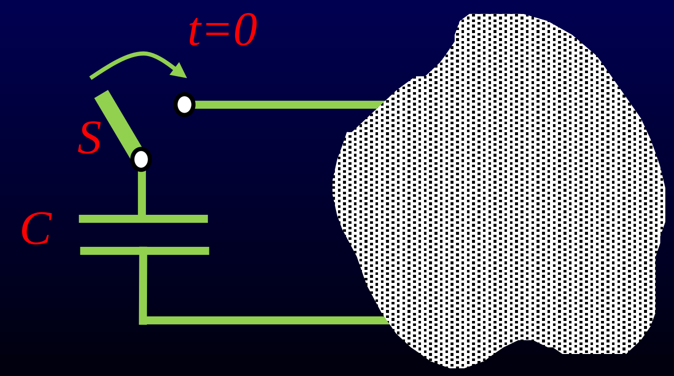
2.8. Resonancia.

2.9. Filtros.

Introducción

La **electrónica** es la rama de la física y la especialización de la ingeniería, que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control del flujo microscópico de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente.

La **electrodinámica** es la rama del electromagnetismo que trata de la evolución temporal en sistemas donde interactúan campos eléctricos y magnéticos con cargas en movimiento.

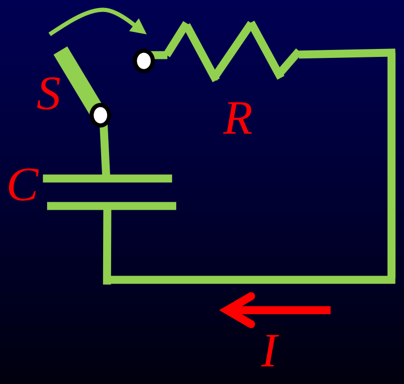


2.1 Circuitos RC y RL

Los circuitos de primer orden son circuitos que contienen solamente un componente que almacena energía (puede ser un **condensador** o **inductor**), y que además pueden describirse usando solamente una ecuación diferencial de primer orden.

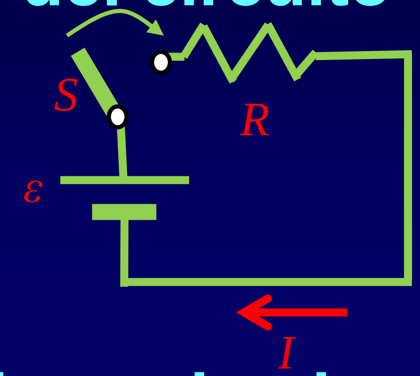
Los dos posibles tipos de circuitos primer orden:

- circuito RC (Resistor y Condensador)
- circuito RL (Resistor e Inductor)



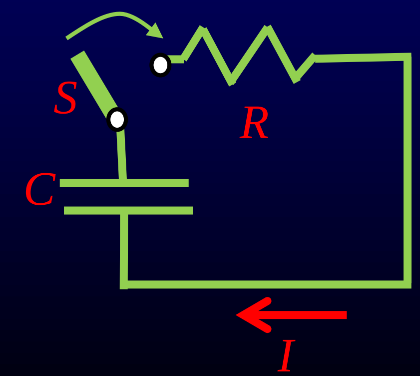
Régimen transitorio

• En circuitos **resistivos**, un cambio en el circuito produce un cambio inmediato en el estado del circuito



$\mathbf{V}(t) = \boldsymbol{R} \cdot \boldsymbol{I}\ (t)$

• La ecuación de comportamiento del condensador, hace que se requiera un tiempo (**régimen transitorio**) para llegar de nuevo al equilibrio (**régimen permanente**).

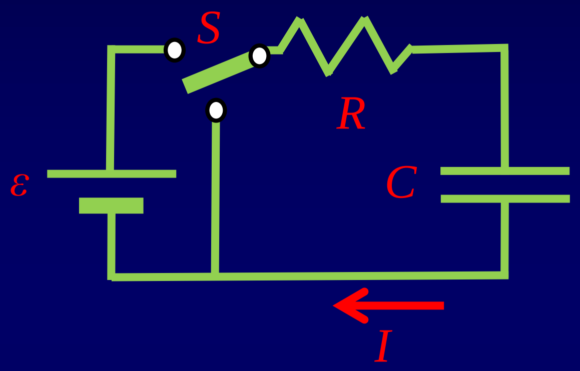


$\boldsymbol{q}(t) = \boldsymbol{C} \cdot \mathbf{V}(t)$

$\boldsymbol{I}\ (t) = \mathrm{d}\boldsymbol{q}/\mathrm{d}t = \boldsymbol{C} \cdot \mathrm{d}\mathbf{V}/\mathrm{d}t$

Ecuación de comportamiento de RC

Ecuaciones de Kirchhoff siguen validos en procesos de carga o descarga.



Caída de tensión en un circuito RC:

- **en la resistencia** $V_R = R \cdot I$
- **en el condensador** $V_C = q / C$

2ª Ley de Kirchhoff $\varepsilon = R \cdot I + q / C$

La corriente es el flujo de la carga $I = \mathrm{d}q / \mathrm{d}t$

Ecuación diferencial del circuito

$$\boxed{\mathrm{d}q / \mathrm{d}t + q / (R\,C) = \varepsilon / R}$$

Ecuaciones diferenciales

La ecuación diferencial lineal de primer orden tiene la forma:

$$\frac{dy}{dx} + \alpha y(x) = f(x)$$

Y la solución de la misma viene dada por:

$$y(x) = e^{-\alpha(x-x_0)}\left(y_0 + \int_{x_0}^{x} f(z)e^{\alpha(z-x_0)}dz\right)$$

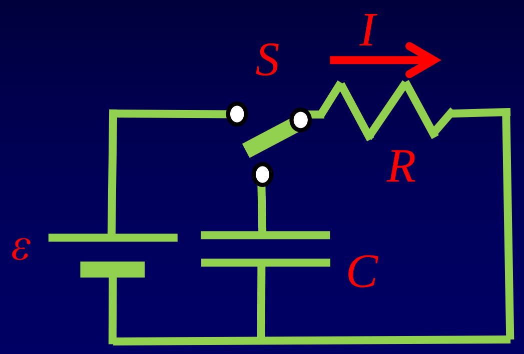
En el caso particular $f(x) = b = const$ y $x_0=0$ la solución es:

$$y(x) = y_0 e^{-\alpha x} + \frac{b}{\alpha}(1 - e^{-\alpha x})$$

Solución de la ecuación de RC

Ecuación diferencial del circuito *RC*:

$\mathrm{d}q / \mathrm{d}t + q / (R\,C) = \varepsilon / R$



Solución general (de la carga *q* en condensador):

$q(t) = A \cdot \exp\{ - t / (R\,C) \} + B$

Constantes *A* y *B* vienen determinadas por los estados inicial, $t = 0$, y final del circuito, $t = \infty$.

Solución general (de la intensidad de la corriente):

$I = \mathrm{d}q / \mathrm{d}t = - A / (R\,C) \cdot \exp\{ - t / (R\,C) \}$

Proceso de carga

Solución general

$$q(t) = A \cdot \exp\{-t/(RC)\} + B$$

Limites en proceso de descarga:

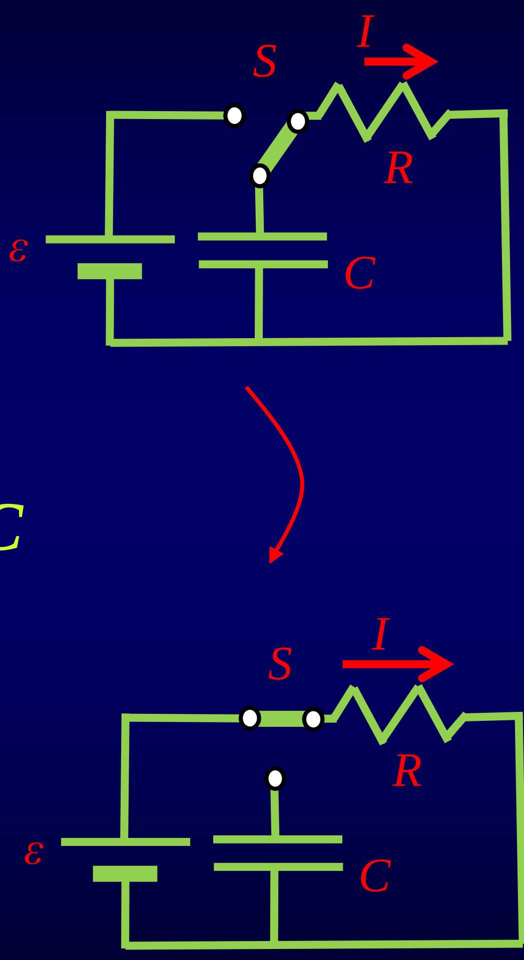
- **condición final** $q(\infty) = VC$ y $B = VC$
- **condición inicial** $q(0) = 0$ y $A = -B = -VC$

Carga q en condensador:

$$q(t) = VC \cdot [1 - \exp\{-t/(RC)\}]$$

Intensidad de corriente:

$$I(t) = V/R \cdot \exp\{-t/(RC)\}$$



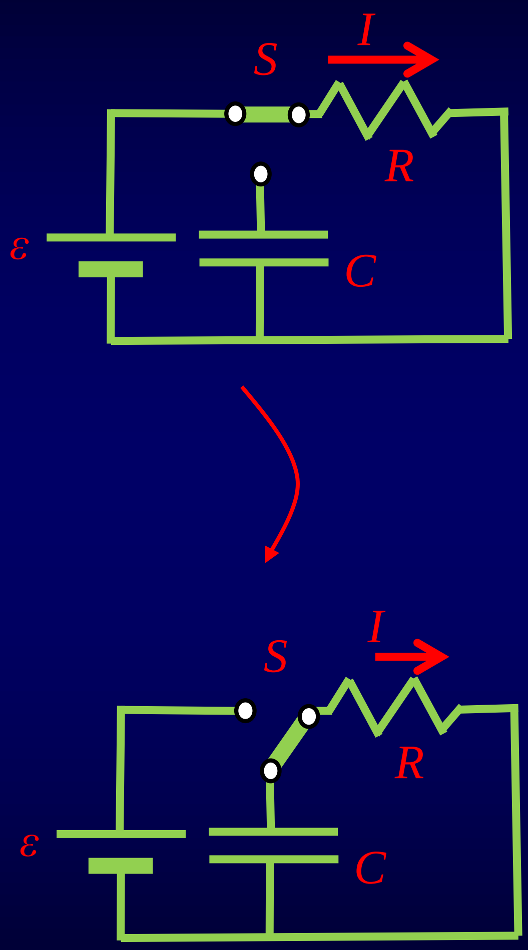
Proceso de descarga

Solución general

$q(t) = A \cdot \exp\{-t/(RC)\} + B$

Limites en proceso de descarga:

- condición final $q(\infty) = 0$ y $B = 0$
- condición inicial $q(0) = VC$ y $A = VC$



Carga q en condensador:

$q(t) = VC \cdot \exp\{-t/(RC)\}$

Intensidad de corriente:

$I(t) = -V/R \cdot \exp\{-t/(RC)\}$

La corriente y la carga disminuyen exponencialmente con el tiempo

Gráficos del proceso de descarga

Carga *q* en condensador:

$q(t) = V\,C \cdot \exp\{-t/(R\,C)\}$

Intensidad de corriente:

$I(t) = -V/R \cdot \exp\{-t/(R\,C)\}$

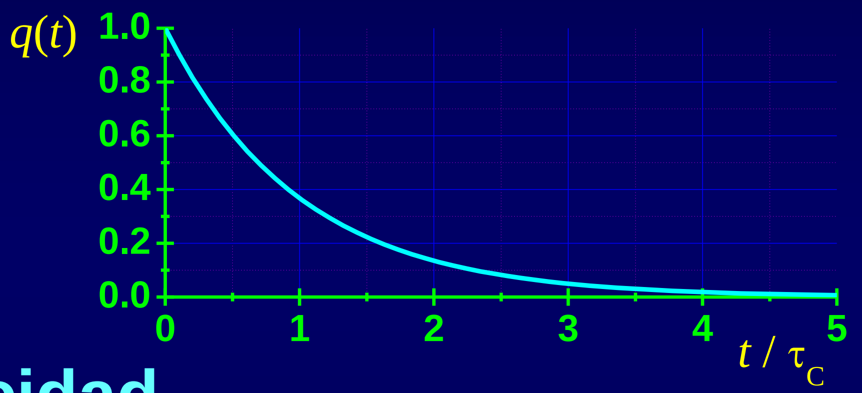
Gráficos del proceso de carga

Carga *q* en condensador: $q(t) = V\,C \cdot [1 - \exp\{-t/(R\,C)\}]$

Intensidad de corriente: $I(t) = V/R \cdot \exp\{-t/(R\,C)\}$

Constante del tiempo

En el circuito estudiado, el producto: $\tau_C = R\,C$
se llama **constante de tiempo** de un circuito RC



Cumple:

- Tiene unidades de tiempo
[ohmio x faradio = segundo]

- está relacionada con la velocidad
a la que decae la exponencial

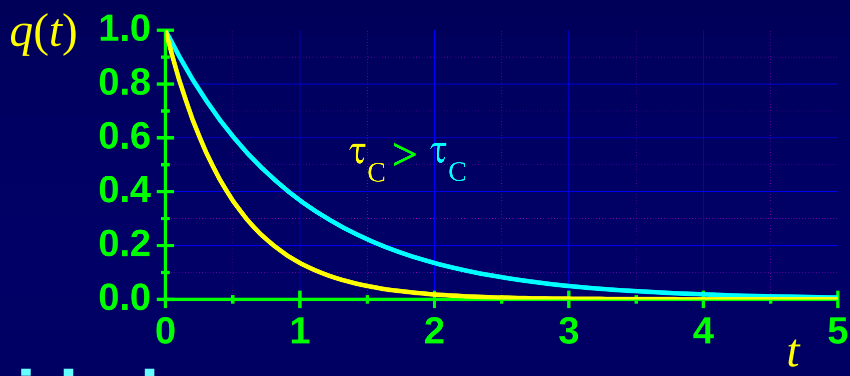
Intensidad de corriente:

$$q(t) = V\,C \cdot \exp\{-t/(R\,C)\}$$
$$= q(0) \cdot \exp\{-t/\tau_C\}$$

$$e^{-t/\tau_C} = \begin{cases} 0.37 & si\ \ t = \tau_C \\ 0.14 & si\ \ t = 2\tau_C \\ 0.05 & si\ \ t = 3\tau_C \end{cases}$$

Constante del tiempo

En el circuito estudiado, el producto: $\tau_C = R\,C$
se llama **constante de tiempo** de un circuito RC



Cumple:

• Tiene unidades de tiempo
[ohmio x faradio = segundo]

• está relacionada con la velocidad
a la que decae la exponencial

La carga (compara con la Intensidad de corriente!)

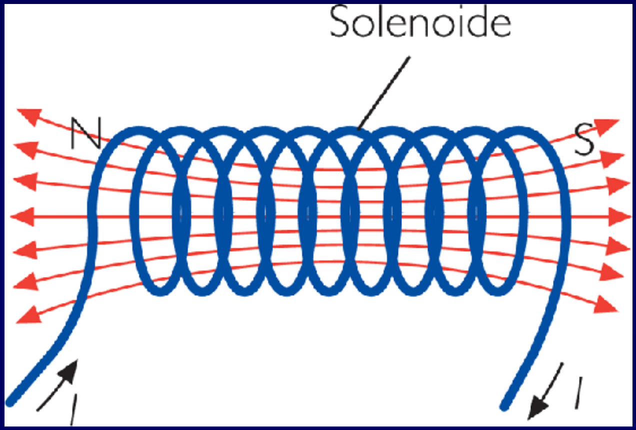
$$q(t) = V\,C \cdot \exp\{-t/(R\,C)\}$$
$$= q(0) \cdot \exp\{-t/\tau_C\}$$

$$e^{-t/\tau_C} = \begin{cases} 0.37 & si\ \ t = \tau_C \\ 0.14 & si\ \ t = 2\tau_C \\ 0.05 & si\ \ t = 3\tau_C \end{cases}$$

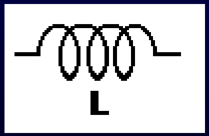
Problemas 1,2

Solenoide

Un solenoide es un dispositivo físico capaz de crear una zona de campo magnético uniforme.



- Un ejemplo es el de una **bobina** de hilo conductor aislado y enrollado helicoidalmente.

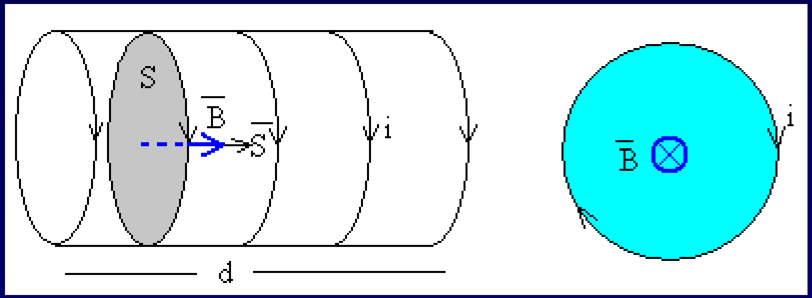
- El símbolo eléctrico 

Autoinducción

Autoinducción es un fenómeno por el cual en un circuito eléctrico una corriente eléctrica (intensidad) variable en el tiempo genera en el circuito otra fuerza electromotriz o voltaje inducido, que se opone al flujo de la corriente inicial inductora y tiene sentido contrario.

Campo magnético de un solenoide

El campo magnético B producido por la corriente I que recorre el solenoide de N espiras, de longitud l y de sección S.



$$B = \mu_0 N I / l$$

Este campo atraviesa las espiras el solenoide, el flujo de dicho campo a través de todas las espiras del solenoide se denomina **flujo** Φ.

$$\Phi = N B S = \mu_0 N^2 S I / l$$

Coeficiente de autoinducción

Se denomina **coeficiente de autoinducción** L al cociente entre el flujo propio Φ y la intensidad I.

$$L = \Phi / I = \mu_0 N^2 S / l$$

- Del mismo modo que la capacidad, el coeficiente de autoinducción solamente depende de la geometría del circuito y de las propiedades magnéticas de la sustancia que se coloque en el interior del solenoide.

- La autoinducción de un solenoide de dimensiones dadas es mucho mayor si tiene un núcleo de hierro que si se encuentra en el vacío.

- La unidad de medida de la autoinducción se llama henry(H)

f.e.m. autoinducida

Cuando la intensidad de la corriente I cambia con el tiempo, se induce una f.e.m. en el propio circuito que se opone a los cambios de flujo, es decir de intensidad.

Derivando respecto al tiempo la expresión del flujo Φ (Ley de Faraday)

$$\varepsilon_L = - \mathrm{d}\Phi / \mathrm{d}t = -L\, \mathrm{d}I / \mathrm{d}t$$

La fem autoinducida ε_L siempre actúa en el sentido que se opone a la variación de corriente.

Campos inducidos

Diferencias entre el campo eléctrico electrostático y el campo eléctrico inducido:

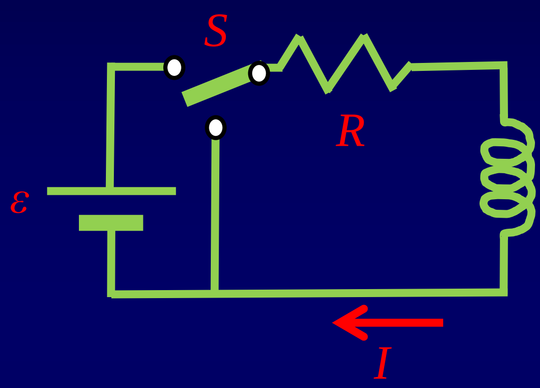
- **Los campos eléctricos *E* inducidos no están asociados a cargas, sino a variaciones temporales del flujo magnético.**

- **Las líneas del *E* inducido formas líneas cerradas,**

- **Mientras que las líneas de campo que representan al electrostático nacen en las cargas positivas y mueren en las negativas.**

Circuito RL

Ecuaciones de Kirchhoff siguen validos en procesos circuitos RL.



Caída de tensión en un circuito RL:

- en la resistencia $V_R = R \cdot I$
- en la bobina $\varepsilon_L = - L\, \mathrm{d}I / \mathrm{d}t$

2ª Ley de Kirchhoff $\varepsilon - L\, \mathrm{d}I / \mathrm{d}t = R \cdot I$

Ecuación diferencial del circuito

$$\boxed{\mathrm{d}q / \mathrm{d}t + q / (R\, C) = \varepsilon / R}$$

$$\boxed{\mathrm{d}I / \mathrm{d}t + (R / L)\, I = \varepsilon / L}$$

Analogía entre RL y RC

Comparando ecuaciones del circuito RL (con $\tau_L = L / R$) :

$$\mathrm{d}I / \mathrm{d}t + I / \tau_L = \varepsilon / L$$

y el del circuito RC (con $\tau_C = R\, C$)

$$\mathrm{d}q / \mathrm{d}t + q / \tau_C = \varepsilon / R$$

podemos notar que están formalmente análogos con las soluciones genéricas

- del circuito RC:

$$q(t) = A \cdot \exp\{ - t / \tau_C\} + B$$

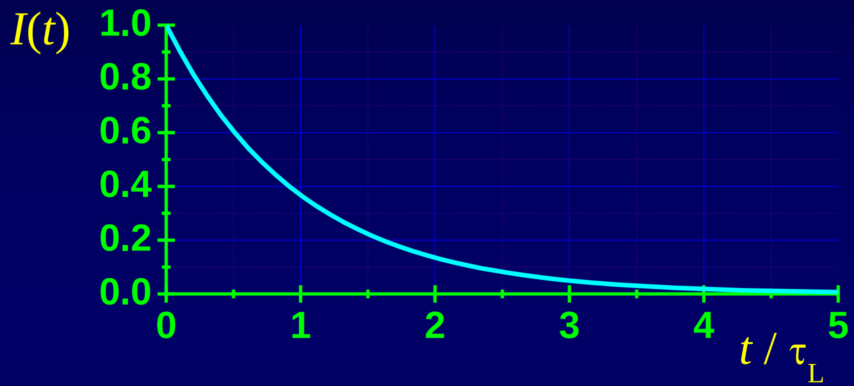
- del circuito RL:

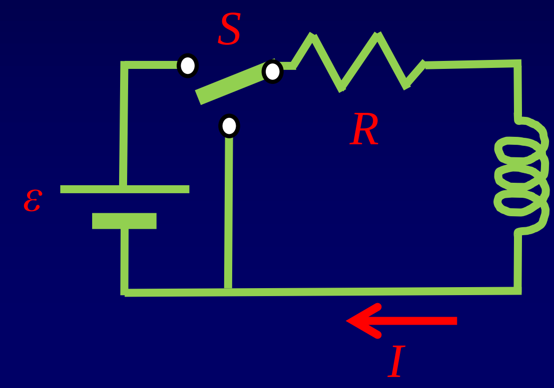
$$I(t) = A \cdot \exp\{ - t / \tau_L\} + B$$

Gráficos del procesos RL

El proceso de caída de la corriente en el circuito:

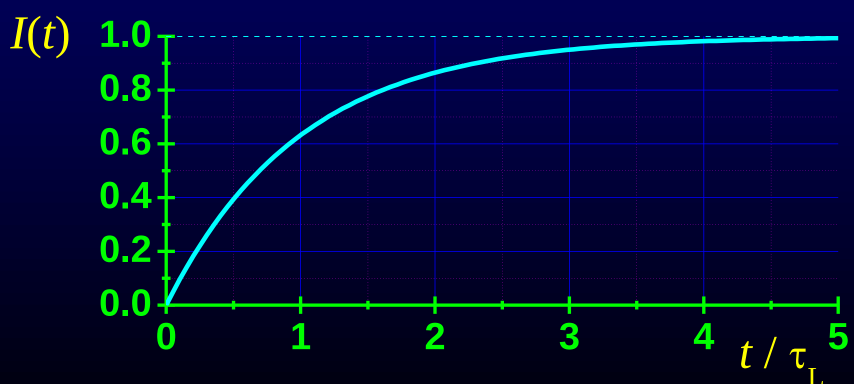
$$I(t) = V / R \cdot \exp\{-t/\tau_L\}$$





El proceso de establecimiento de la corriente:

$$I(t) = V / R \cdot [1 - \exp\{-t/\tau_L\}]$$



Problemas 3,4

2.3. Números complejos.

El término **número complejo** describe la suma de un número real y un número imaginario

$z = x + i\,y$

- la **unidad imaginaria** se indica con la letra i o con la letra j para no confundirla con la intensidad de corriente I.

- la unidad imaginaria denota la raíz cuadrada de -1: $i = (-1)^{1/2}$. Su cuadrado da -1: $i^2 = -1$.

- Conjugado z^* de un número complejo z :
$z^* = x - i\,y$

Valor absoluto

El cuadrado del **valor absoluto**, módulo o magnitud de un número complejo z viene dado por la suma de cuadrados de la parte real e imaginaria:

$$|z| = \sqrt{(\mathrm{Re}\, z)^2 + (\mathrm{Im}\, z)^2}$$

- En las coordenadas cartesianas el número complejo z corresponde a un punto en el plano

- por el teorema de Pitágoras, el valor absoluto de un número complejo coincide con la distancia euclídea desde el origen del plano a dicho punto.

- $z\, z^* = |z|^2$

Representación binómica

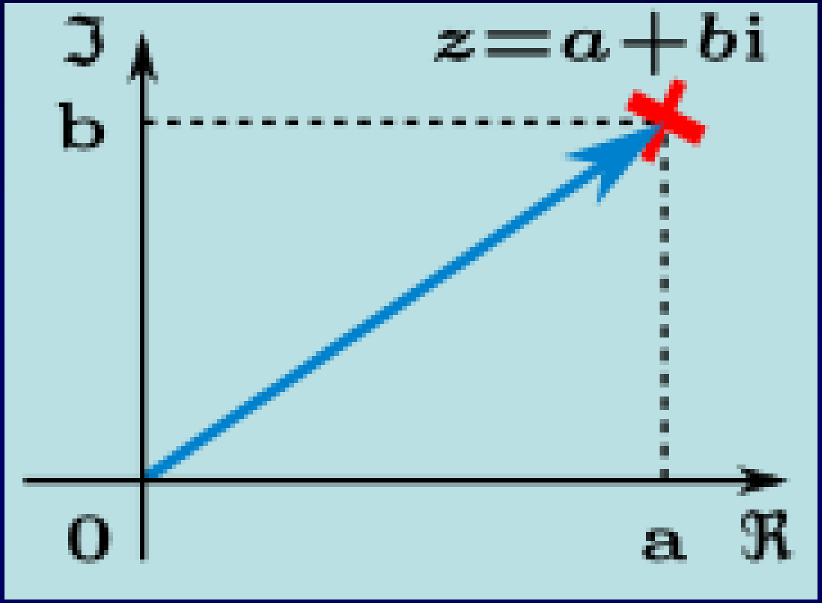
Un número complejo se representa en forma binomial como:

$z = x + i\,y$

La parte real del número complejo y la parte imaginaria

$x = \mathrm{Re}\, z$

$y = \mathrm{Im}\, z$

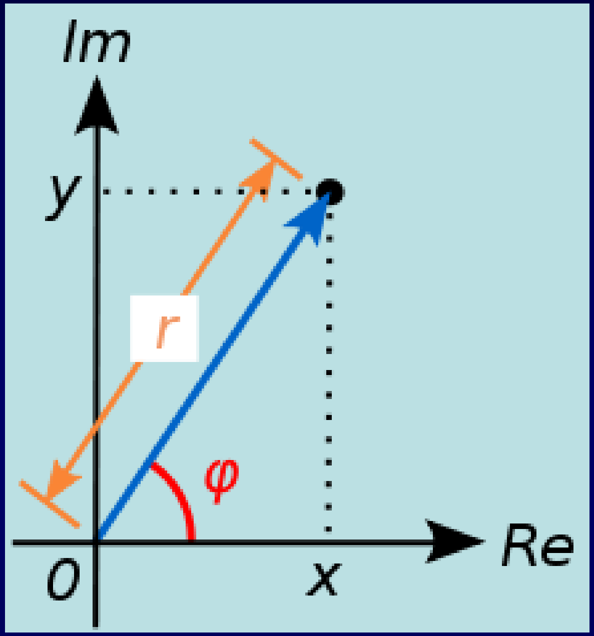


Representación polar

En representación polar $z = \rho\, e^{i\varphi}$

• ρ es el módulo del número complejo

• φ el ángulo (o argumento) del número complejo.



Desde el triangulo

$\mathrm{tg}\ \varphi = \mathrm{Im}\ z\ /\ \mathrm{Re}\ z$

el argumento

$\varphi = \mathrm{arctg}\ [\mathrm{Im}\ z\ /\ \mathrm{Re}\ z]$

Radián

El radián es la unidad de ángulo plano.

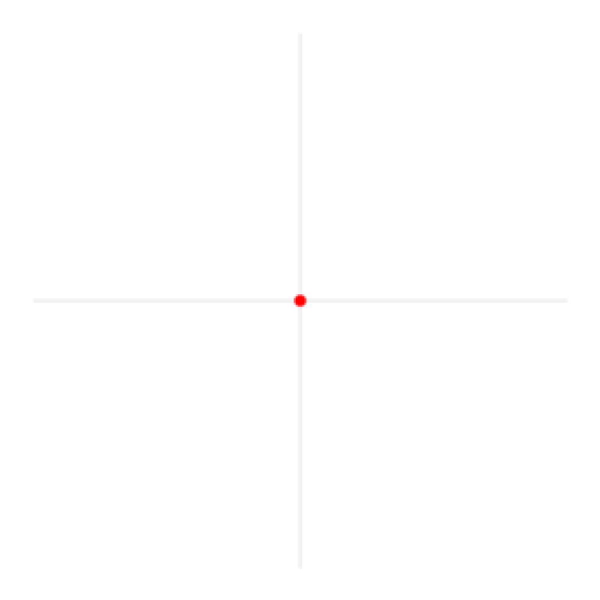
- **El ángulo formado por dos radios de una circunferencia, medido en radianes, es igual a la longitud del arco que delimitan los radios; es decir,**

$\varphi = s/r$, **donde**

φ **es ángulo,**

s **es la longitud del arco,**

r **es el radio.**

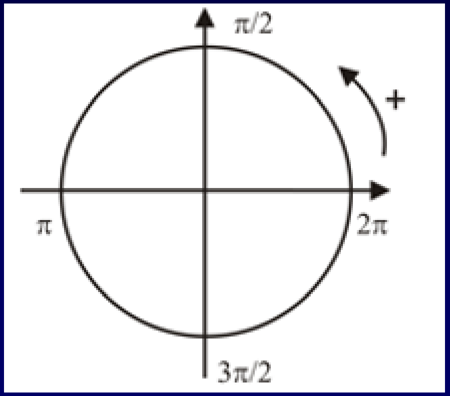


- **La longitud del arco** s **es el producto de** φ **(en radianes) por el radio** r**.**
- **La equivalencia entre grados y radianes es:** $\pi \text{ rad} = 180°$

Formula de Euler

La parte real de una exponente imaginaria es el coseno
La parte imaginaria es el seno

- $e^{i\varphi} = \cos\varphi + i\sin\varphi$



Casos especiales:

- $\varphi = 0$: $e^{i0} = 1$
- $\varphi = 90° = \pi/2$: $e^{i\pi/2} = i$
- $\varphi = 180° = \pi$: $e^{i\pi} = -1$
- $\varphi = 270° = 3/2\ \pi$: $e^{i3\pi/2} = -i$

- **Relación entre** π, e, i, 1: $e^{i\pi} + 1 = 0$

Operaciones (forma cartesiana)

Operaciones con dos números complejos

$z_1 = x_1 + i\, y_1$

$z_2 = x_2 + i\, y_2$

- suma

$z_1 + z_2 = (x_1 + x_2) + i\, (y_1 + y_2)$

- resta

$z_1 - z_2 = (x_1 - x_2) + i\, (y_1 - y_2)$

- producto

$z_1 \cdot z_2 = (x_1\, x_2 - y_1 y_2) + i\, (x_1\, y_2 + x_2\, y_1)$

- división

$z_1 / z_2 = (x_1\, x_2 + y_1 y_2) / (x_2^2 + y_2^2) + i\, (x_1\, y_2 - x_2\, y_1) / (x_2^2 + y_2^2)$

Operaciones en forma polar

Operaciones con dos números complejos

$z_1 = \rho_1 \, e^{\,i\,\varphi 1}$

$z_2 = \rho_2 \, e^{\,i\,\varphi 2}$

- **producto**

$z_1 \cdot z_2 = \rho_1 \, \rho_2 \, e^{\,i\,(\varphi 1 + \varphi 2)}$

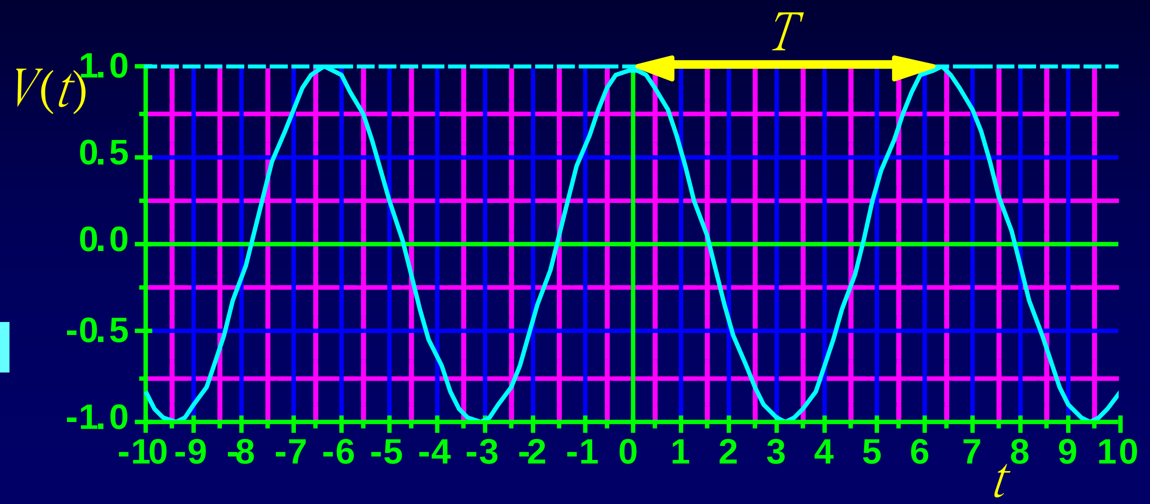
- **división**

$z_1 / z_2 = \rho_1 / \rho_2 \cdot e^{\,i\,(\varphi 1 - \varphi 2)}$

Fem alternas sinusoidales

Fem alterna:

$V(t) = V_0 \cos(\omega t + \varphi)$



el periodo de la señal

$T = 2\pi / \omega$

frecuencia $f = 1/T$

fase φ

corresponde a la parte real de una exponente compleja

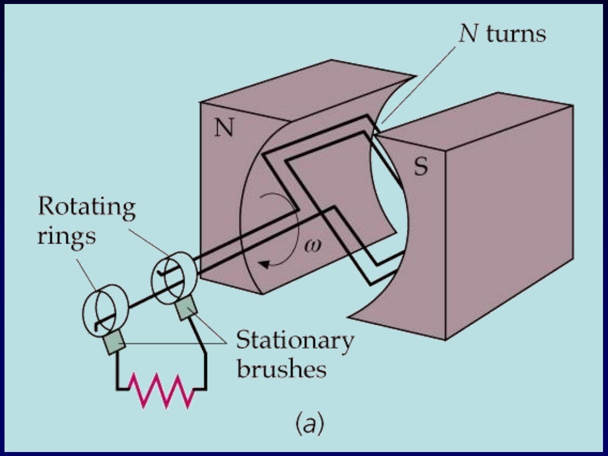
$\cos(\omega t) = \mathrm{Re}[\exp\{i(\omega t + \varphi)\}]$

Corriente alterna

En una expresión del tipo $z = r\, e^{i\varphi}$ podemos pensar en r como la amplitud y en φ como la fase de una onda sinusoidal de una frecuencia dada.

• Cuando representamos una corriente o un voltaje de corriente alterna (y por tanto con comportamiento sinusoidal) como la parte real de una función de variable compleja de la forma $f(t) = A \exp(i\,\omega\, t)$ donde ω representa la frecuencia angular y el número complejo z nos da la fase y la amplitud, el tratamiento de todas las fórmulas que rigen las resistencias, capacidades e inductores pueden ser unificadas introduciendo resistencias imaginarias para las dos últimas.

Producción de fem alternas

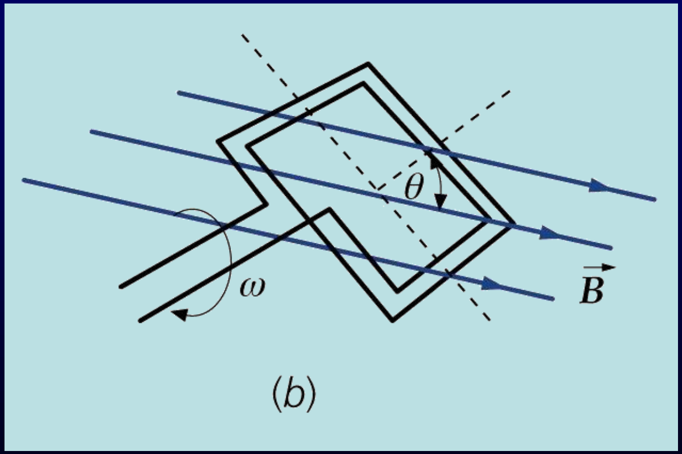


Consideramos N espiras que giran con velocidad angular ω constante en un campo magnético uniforme B.

- flujo del campo magnético

$\Phi = B \cdot S \cdot N \cdot \cos \vartheta$

- como $\vartheta = \omega \cdot t + \vartheta_0$, el flujo $\Phi = B \cdot S \cdot N \cdot \cos(\omega \cdot t + \vartheta_0)$



- Ley de Faraday:

$\varepsilon = -\,d\Phi / dt = BSN\,\omega \sin(\omega t + \vartheta_0)$

$\varepsilon(t) = V_0 \sin(\omega t + \vartheta_0)$

- Símbolo electrónico: ∿

Valores medios de corriente alterna

Caracterización de una corriente alterna de voltaje $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$ e intensidad $I(t) = I_0 \cos(\omega t)$

1) utilizando valores medios

- **voltaje:**

$$\langle V \rangle = \frac{1}{T}\int_0^T V(t)\,\mathrm{d}t = \frac{1}{T}\int_0^T V_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right)\mathrm{d}t = \frac{V_0}{2\pi}\left[\sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)\right]_0^T = 0$$

i.e. voltaje medio es cero.

- **intensidad**

$$\langle I \rangle = \frac{1}{T}\int_0^T I(t)\,\mathrm{d}t = \frac{1}{T}\int_0^T I_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right)\mathrm{d}t = \frac{I_0}{2\pi}\left[\sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)\right]_0^T = 0$$

i.e. intensidad media es cero.

- **Los valores medios no dan información sobre las corrientes alternas.**

Valores eficaces de corriente alterna

2) utilizando valores eficaces

- **voltaje eficaz**

$$\langle V^2\rangle = \frac{1}{T}\int_0^T V^2(t)\,\mathrm{d}t =$$

$$\frac{1}{T}\int_0^T V_0^2\cos^2\left(\frac{2\pi}{T}t\right)\mathrm{d}t = \frac{1}{T}\int_0^T V_0^2\,\frac{1}{2}\left(1+2\cos\left(\frac{4\pi}{T}t\right)\right)\mathrm{d}t = \frac{V_0^2}{2}$$

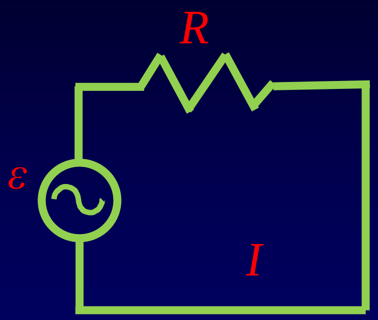
i.e. voltaje eficaz es $V_{ef} = V_0 / \sqrt{2}$

- **intensidad eficaz es** $I_{ef} = I_0 / \sqrt{2}$

- **Los voltímetros y amperímetros miden valores eficaces de la corriente o la tensión.**

Corriente alterna: circuito con resistencia

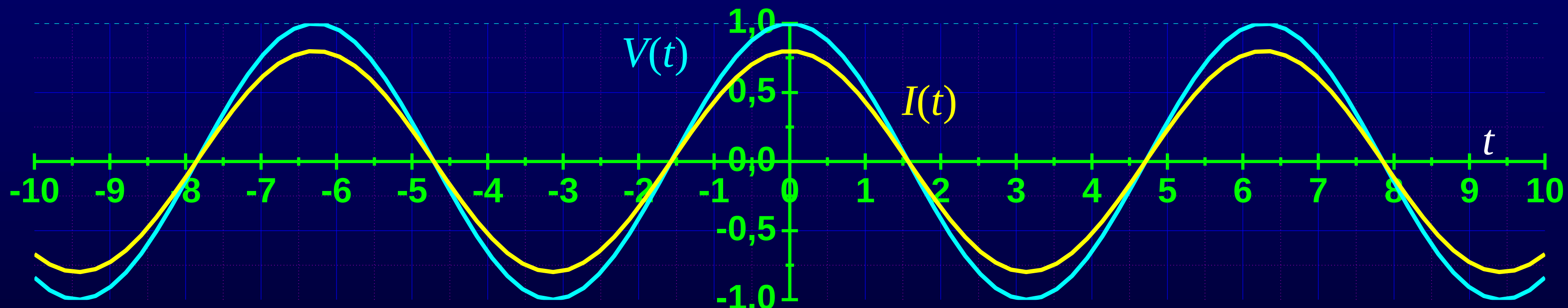
- Corriente alterna en un circuito de una resistencia R



- $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$

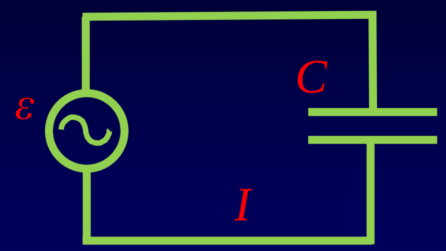
- Segunda ley de Kirchhoff da la intensidad

$$I(t) = V(t) / R = V_0 / R \cdot \cos(\omega t)$$



- La tensión aplicada y la corriente están **en fase**

Corriente alterna:circuito con condensador



- Corriente alterna en un circuito de un condensador C

- Voltaje en la entrada $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$

- Carga en el condensador $q(t) = V(t)C = V_0 C \cos(\omega t)$

- Intensidad de la corriente

$$I(t) = \mathrm{d}q(t)/\mathrm{d}t = -V_0\, \omega\, C \cdot \sin(\omega t) = -I_0 \sin(\omega t)$$

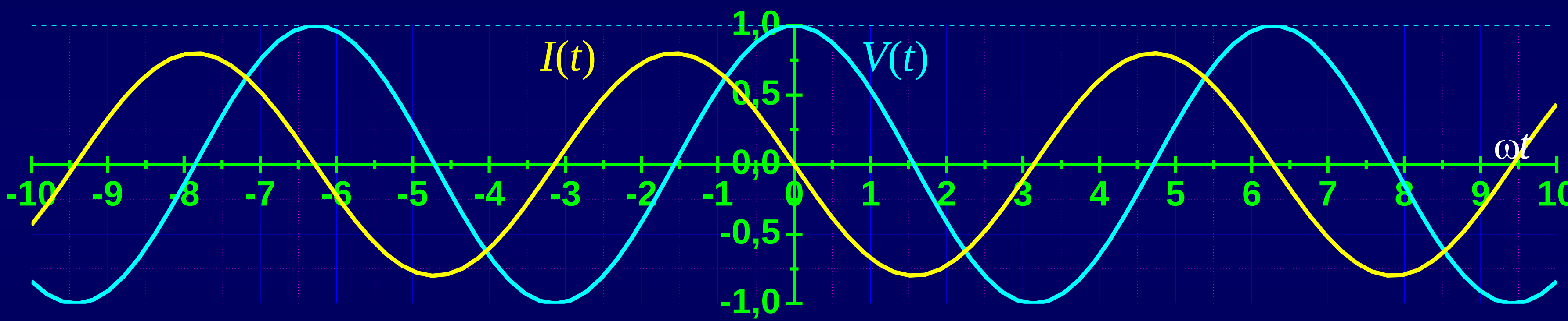
- Relación entre coseno y seno $-\sin(\omega t) = \cos(\omega t + \pi/2)$

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t + \pi/2)$$

Corriente alterna:circuito con condensador

- **Voltaje en la entrada** $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$

- **Intensidad de la corriente** $I(t) = I_0 \cos(\omega t + \pi/2)$



- **Hay un desfase de 90º en adelanto de la corriente que circula por el circuito respecto de la tensión en extremos del condensador**
(la corriente está adelantada $\pi/2$ respecto del voltaje)

Reactancia capacitiva o capacitancia

En términos de una exponente compleja en la entrada

$V(t) = V_0\, e^{i\omega t}$

la intensidad $I(t) = C\ \mathrm{d}V/\mathrm{d}t = V_0\, i\, \omega\, C\, e^{i\omega t}$

podemos reproducir la ley de Ohm $V = I\, R_C$ con una resistencia del condensador imaginaria $R_C = 1\,/\,(i\,\omega C)$.

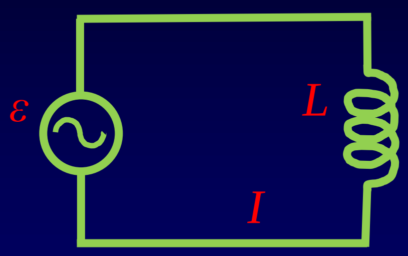
Su modulo $\boxed{X_C = |R_C| = 1\,/\,(\omega\, C)}$

se denomina **reactancia capacitiva**.

Describe la oposición ofrecida al paso de la corriente alterna por condensadores y se mide en Ohmios.

La resistencia equivalente es $R_C = X_C\,/\,i = -\,i\, X_C$

Corriente alterna: circuito con inducción



• Corriente alterna en un circuito de una bobina con coeficiente de inducción L

• Voltaje en la entrada $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$

• Autoinducción en la bobina $\varepsilon_L = - L\, \mathrm{d}I / \mathrm{d}t$

• Segunda ley de Kirchhoff $V(t) + \varepsilon_L = 0$

da una ecuación diferencial $\mathrm{d}I / \mathrm{d}t = V_0 / L \cdot \cos(\omega t)$
con la solución $I(t) = V_0 / (L\,\omega) \cdot \sin(\omega t)$

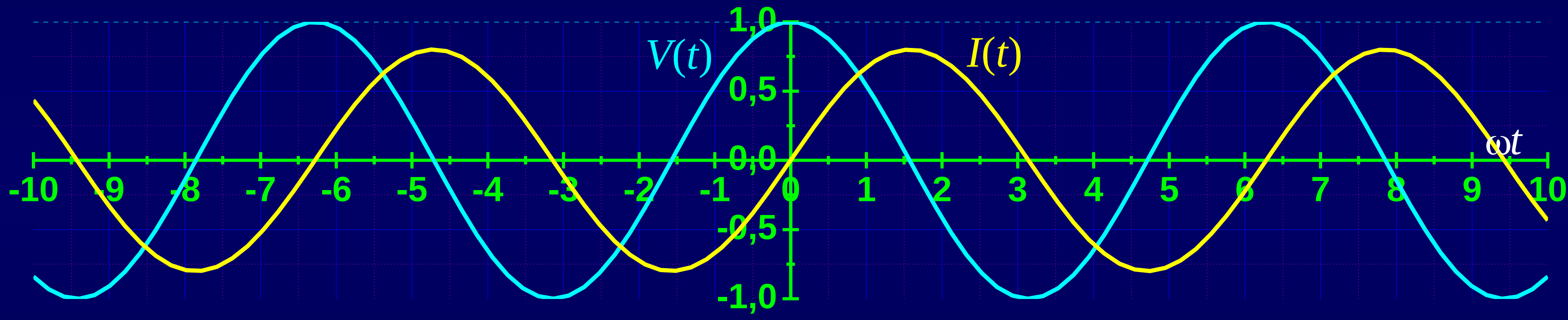
• relación entre coseno y seno $\sin(\omega t) = \cos(\omega t - \pi/2)$

$I(t) = I_0 \cos(\omega t - \pi/2)$

Corriente alterna: circuito con inducción

- Voltaje en la entrada $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$

- Intensidad de la corriente $I(t) = I_0 \cos(\omega t - \pi/2)$



- Por tanto, la bobina en corriente alterna **atrasa** la corriente **90º** respecto a la tensión presente en sus extremos.

Reactancia inductiva o inductancia

En términos de una exponente compleja en la entrada $V(t) = V_0\, e^{i\omega t}$ la ecuación diferencial es $\mathrm{d}I / \mathrm{d}t = V_0 / L \cdot e^{i\omega t}$ con la solución de $I = V_0 / (i\omega L) \cdot e^{i\omega t}$

Podemos reproducir la ley de Ohm $V = I \cdot R_L$ con una resistencia de inducción imaginaria $R_L = i\,\omega L$.

Su modulo $\boxed{X_L = |R_L| = \omega\, L}$

se denomina **reactancia inductiva.**
Describe la oposición ofrecida al paso de la corriente alterna por bobinas y se mide en Ohmios.

La resistencia equivalente es $R_L = i\;X_L$

Regla nemotécnica

Si se representa por las letras

- ***L*** **a la inducción eléctrica,**
- ***U*** **a la tensión eléctrica,**
- ***C*** **a la capacidad eléctrica**

se puede utilizar la siguiente regla para recordar fácilmente cuando la corriente (*I*) atrasa o adelanta a la tensión (*U*) según el tipo de circuito eléctrico que se tenga, inductivo (*L*) o capacitivo (*C*).

LUIS**, se observa que la corriente (*I*) atrasa a la tensión (*U*) en un circuito inductivo (*L*).**

CIUDAD**, se puede observar que la corriente (*I*) adelanta a la tensión (*U*) en un circuito capacitivo (*C*).**

2.4. Impedancia. Ley de Ohm.

Hemos visto que la ley de Ohm $V = I \cdot Z$ sigue valida en circuitos de corriente alterna considerando un valor complejo de la resistencia $\bar{Z} = R + i\,X$ donde

• una resistencia R contribuye a la parte real de $\bar{Z}$

• un condensador C da una contribución de $- i\,X_C$ donde la reactancia capacitiva es $X_C = 1 / (\omega C)$

• una inducción L da una contribución de $+ i\,X_L$ donde la reactancia inductiva es $X_L = |R_L| = \omega L$

La **impedancia** es un concepto totalizador de los de resistencia y reactancia y es la suma de ambos.

Ley de Ohm.

El concepto de impedancia generaliza la ley de Ohm en el estudio de circuitos en corriente alterna $V = I \cdot Z$.

El formalismo de las impedancias permite calcular circuitos que contienen elementos resistivos, inductivos o capacitivos de manera similar al cálculo de circuitos resistivos en corriente continua.

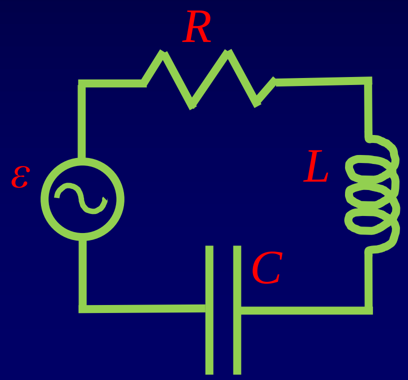
Esas reglas sólo son válidas en los casos siguientes:

• Si estamos en régimen permanente con corriente alterna sinusoidal.
• Si todos los componentes son lineales (p.ej. excluyen los componentes no lineales como los diodos).

Corriente alterna: circuito LCR.

La parte real de la impedancia es la resistencia R y su parte imaginaria es la reactancia (X_L - X_C).

$$\bar{Z} = R + i\,X_L - i\,X_C = R + i\,(X_L - X_C)$$



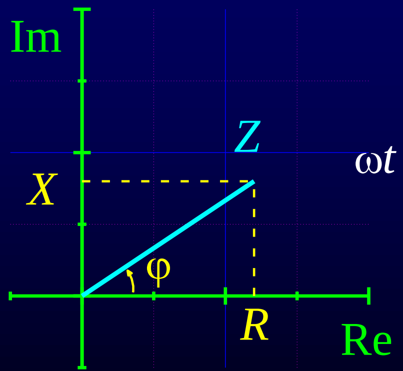
- Voltaje en la entrada $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$

- Intensidad de la corriente $I(t) = I_0 \cos(\omega t - \varphi)$

- Ángulo de fase $\mathrm{tg}\,\varphi = X / R = (X_L - X_C) / R$

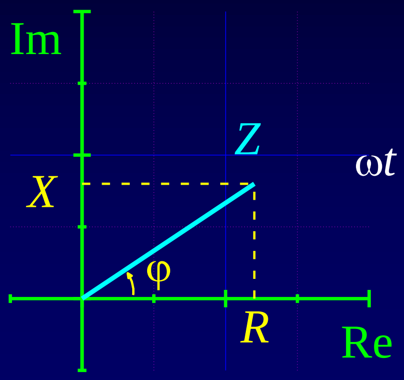
- Corriente máxima

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{\varepsilon_0}{Z}$$



Notación fasorial

La relación entre corriente y voltaje en una bobina o en un condensador puede representarse mediante vectores bidimensionales llamados fasores.

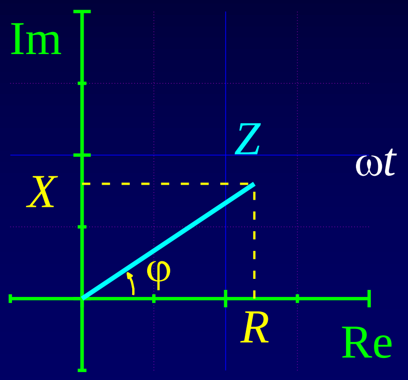


• Podemos representar la caída de potencial en una resistencia como un vector de módulo $I_0 R$, que forma un ángulo φ con el eje real.

• El valor instantáneo de la caída de tensión es la componente real del vector $\mathrm{Re}\,[\overline{V}]$, que gira en sentido antihorario con una velocidad ω.

Notación fasorial

Esta representación fasorial, la podemos llevar a cabo en el plano complejo.



- Coordenadas cartesianas **z = x + i y**
- Coordenadas polares **r, φ**

cambio de coordenadas:

- Cartesianas a polares: $\begin{cases} r = \sqrt{a^2 + b^2} \\ \theta = \operatorname{arc\,tg} \dfrac{b}{a} \end{cases}$
- Polares a cartesianas $\begin{cases} a = r\cos\theta \\ b = r\,\mathrm{sen}\theta \end{cases}$

Problemas 7,6

Diagrama fasorial: circuito RL.

Supongamos que por el circuito serie RL circula una corriente $\bar{I} = I \, |\underline{\alpha}$

Como V_R está en fase y $\bar{V}_R = I\,R\,|\underline{\alpha}$

V_L adelantada 90º respecto a dicha corriente, $\bar{V}_L = I\,X_L\,|\underline{\alpha+90}$

se tendrá: $\bar{V} = \bar{V}_R + \bar{V}_L = V\,|\underline{\alpha+\varphi}$

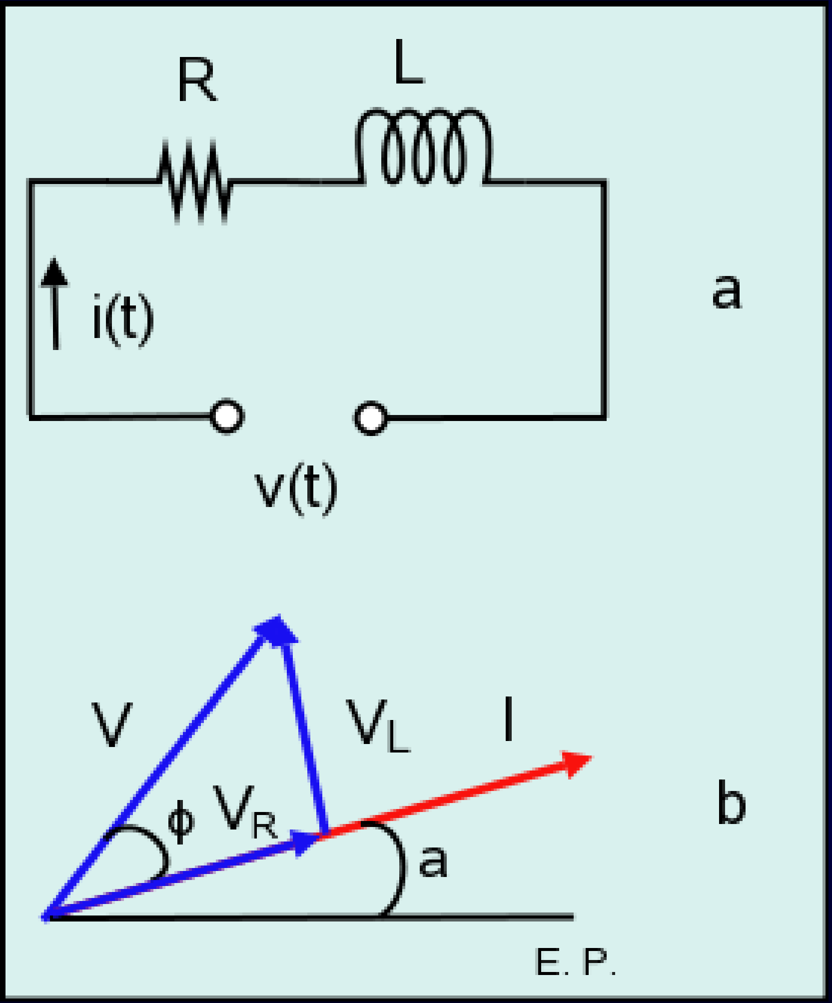


Diagrama fasorial: circuito RC.

Supongamos que por el circuito serie RC circula una corriente $\overline{I} = I\,|\underline{\alpha}$

Como V_R está en fase y $\overline{V}_R = I\,R\,|\underline{\alpha}$

V_C **retrasa** 90º respecto a dicha corriente, $\overline{V}_C = V\,|\underline{\alpha\text{-}90}$

se tendrá: $\overline{V} = \overline{V}_R + \overline{V}_C = V\,|\underline{\alpha\text{-}\varphi}$

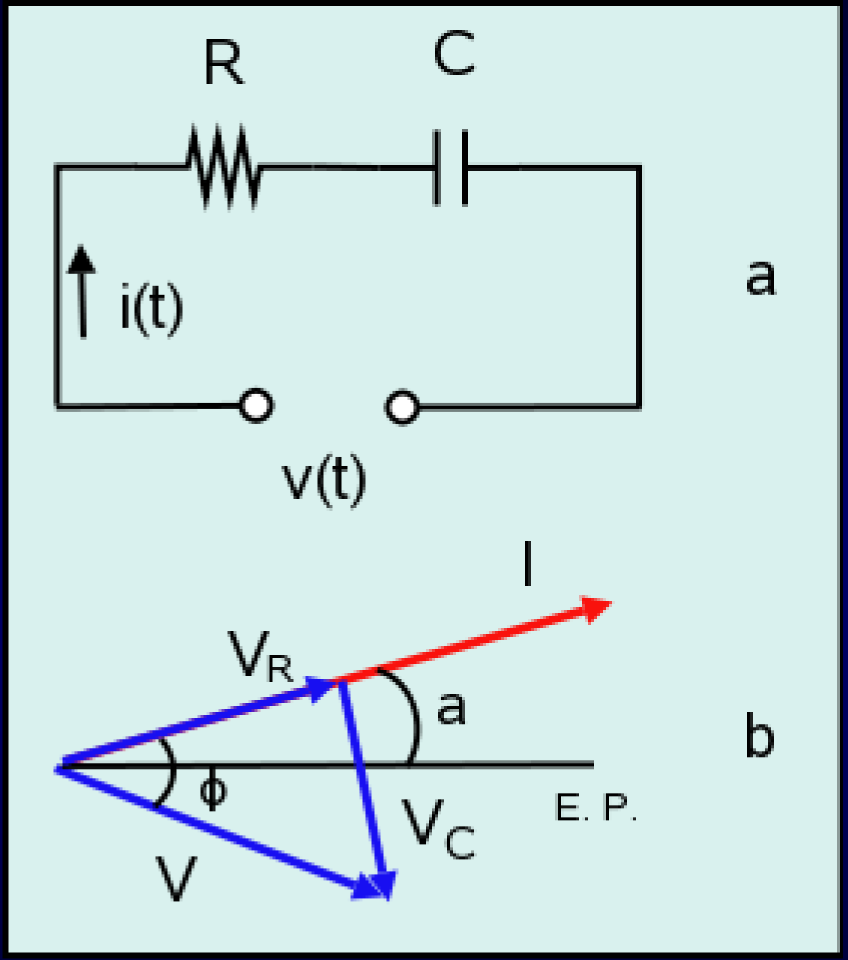


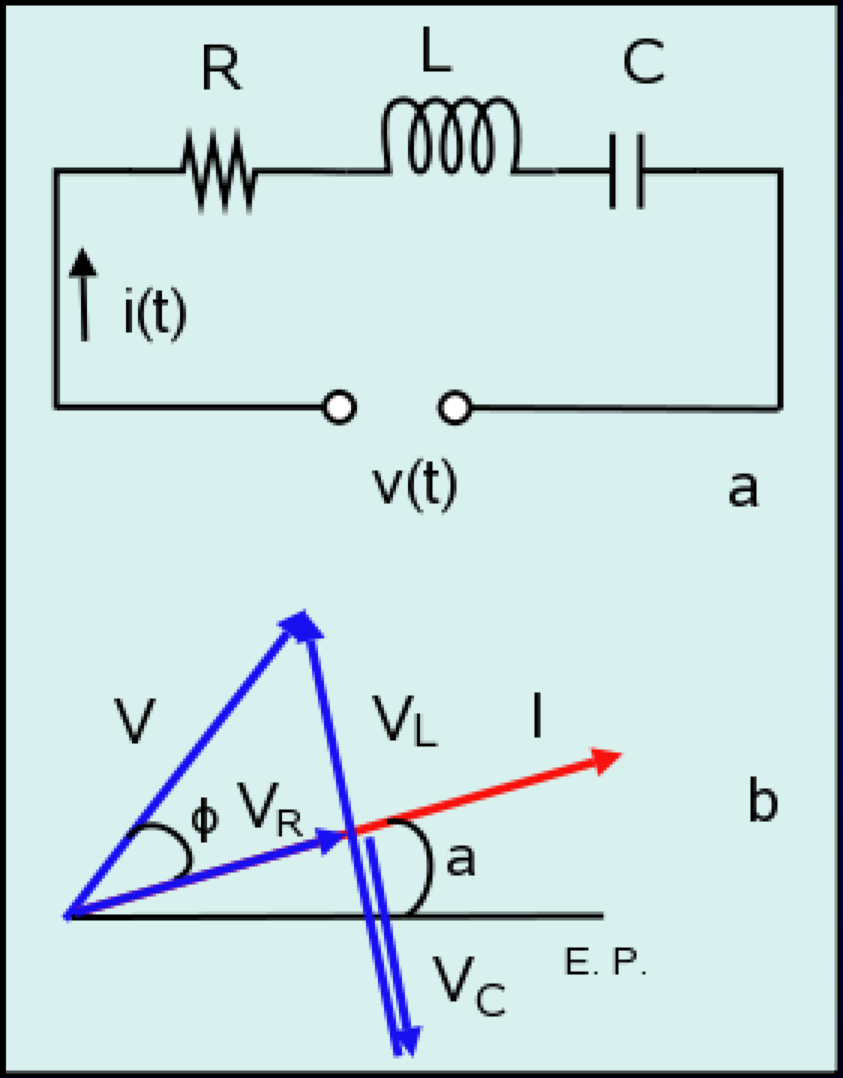
Diagrama fasorial: circuito RLC.

Hay siguientes casos:

• circuito inductivo, la intensidad queda retrasada respecto de la tensión

• circuito capacitivo, la intensidad queda adelantada respecto de la tensión.

• circuito resistivo, la intensidad queda en fase con la tensión (en este caso se dice que hay resonancia).



Problemas 9,10,11

2.6. Potencia

La **potencia eléctrica** es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo;

• es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado.

• La potencia es proporcional a la corriente y a la tensión $P = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}q}\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = V\,I$

donde I es el valor instantáneo de la corriente y V es el valor instantáneo del voltaje.

• Si I se expresa en amperios y V en voltios, P estará expresada en watts (vatios).

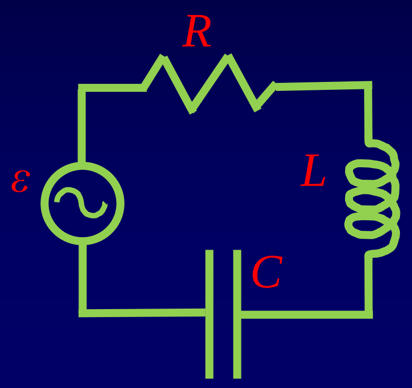
Potencia en un circuito de corriente alterna

- **Voltaje en la entrada**

$V(t) = V_0 \cos(\omega t)$

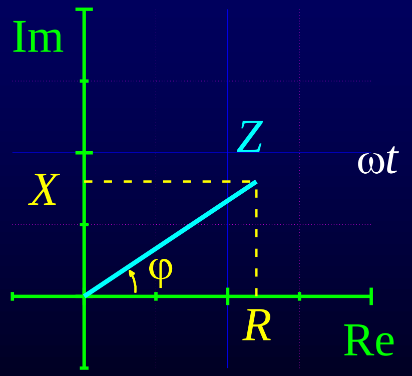
- **Intensidad de la corriente**

$I(t) = I_0 \cos(\omega t - \varphi)$



- **la diferencia en fase entre el voltaje y la intensidad de la corriente es el ángulo de fase de la impedancia**

$\mathrm{tg}\,\varphi = X / R = (X_L - X_C) / R$



La parte real de la impedancia es la resistencia R y su parte imaginaria es la reactancia $(X_L - X_C)$.

$\bar{Z} = R + i\,X_L - i\,X_C = R + i\,(X_L - X_C)$

Circuito con desfase φ

En un circuito general hay el desfase φ definido por la impedancia $\mathrm{tg}\,\varphi = X / R$

$$V(t) = V_0 \cos(\omega t)$$
$$I(t) = I_0 \cos(\omega t - \varphi)$$

La potencia instantánea

$$P(t) = V_0\, I_0 \cos(\omega t) \cos(\omega t - \varphi)$$

La potencia media ($\cos(\omega t - \varphi) = \cos(\omega t)\cos(\varphi) + \sin(\omega t)\sin(\varphi)$)

$$P = \langle P(t) \rangle = V_0\, I_0 \cdot \langle \cos(\omega t) \cos(\omega t - \varphi) \rangle =$$
$$= V_0\, I_0 \cdot \langle \cos^2(\omega t) \rangle \cos(\varphi) + V_0\, I_0 \cdot \langle \cos(\omega t) \sin(\omega t) \rangle \sin(\varphi) =$$
$$= V_0\, I_0 / 2 \cdot \cos(\varphi)$$

expresada con valores eficaces $P = V_{ef}\, I_{ef} \cos(\varphi)$

Potencia en una resistencia

Como la resistencia no introduce diferencia de fase entre corriente y voltaje ($\varphi=0$),

$$V(t) = V_0 \cos(\omega t)$$

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t)$$

el cálculo de la **potencia instantánea** $P(t) = V(t) \cdot I(t)$ es inmediato $P(t) = V_0 \cos(\omega t)\, I_0 \cos(\omega t) = V_0^2/R \cdot \cos^2(\omega t)$

La **potencia media** $P = \langle P(t) \rangle = V_0^2/R \cdot \langle \cos^2(\omega t) \rangle = 1/2 \cdot V_0^2/R$

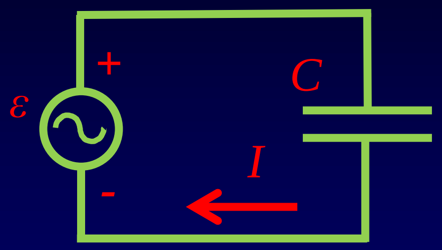
Expresada con valores eficaces

- voltaje eficaz es $V_{ef} = V_0 / \sqrt{2}$
- intensidad eficaz es $I_{ef} = I_0 / \sqrt{2}$

La resistencia disipa energía en forma de calor por efecto Joule. La potencia disipada $P = V_{ef}^2/R = R \cdot I_{ef}^2$

Potencia en un condensador

En un instante dado, la energía puede estar entrando o saliendo del condensador, dependiendo si en ese momento se carga o se descarga.



- Hay un desfase de 90º en adelanto de la respecto de la tensión (la corriente está adelantada $\pi/2$ respecto del voltaje): $\varphi = -\pi/2 = -90°$,

$$V(t) = V_0 \cos(\omega t)$$

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t + \pi/2) = -I_0 \sin(\omega t)$$

La potencia instantánea

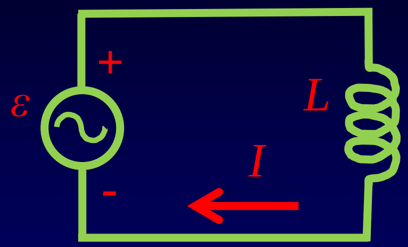
$$P(t) = -V_0^2/X_C \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\omega t) = -V_0^2/X_C \cdot 1/2 \cdot \sin(2\omega t)$$

La potencia media

$$P = \langle P(t) \rangle = -V_0^2/X_C \cdot 1/2 \cdot \langle \sin(2\omega t) \rangle = 0$$

Potencia en una inducción

En un instante dado, la energía puede estar entrando o saliendo a la bobina.



- La bobina en corriente alterna atrasa la corriente 90º respecto a la tensión: $\varphi = \pi/2 = 90°$,

$$V(t) = V_0 \cos(\omega t)$$

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t - \pi/2) = I_0 \sin(\omega t)$$

La potencia instantánea

$$P(t) = V_0^2 / X_L \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\omega t) = V_0^2 / X_L \cdot 1/2 \cdot \sin(2\omega t)$$

La potencia media

$$P = \langle P(t) \rangle = V_0^2 / X_L \cdot 1/2 \cdot \langle \sin(2\omega t) \rangle = 0$$

Potencia compleja

Usando el formalismo de las exponenciales complejas

$$\bar{V} = V_0\, e^{i\omega t}$$

$$\bar{I} = I_0\, e^{i(\omega t-\varphi)}$$

$$\bar{Z} = Z\, e^{i\varphi}$$

La **potencia compleja** $\bar{S} = 1/2\, \bar{V}\, \bar{I}^* = 1/2\, V_0\, e^{i\omega t}\, I_0\, e^{-i(\omega t-\varphi)}$ $= V_0 I_0/2 \cdot e^{i\varphi} = V_{ef}\, I_{ef}\, (\cos(\varphi) + i \sin(\varphi))$

Cada uno de los términos de $\bar{S}$ tiene un significado

- **Potencia activa** $P = \mathrm{Re}[\bar{S}] = V_{ef}\, I_{ef} \cos(\varphi)$ (se mide en vatios)
- **Potencia reactiva** $Q = \mathrm{Im}[\bar{S}] = V_{ef}\, I_{ef} \sin(\varphi)$ (se mide en Voltio-Amperios reactivos)
- **Potencia aparente** $S = |\bar{S}| = V_{ef}\, I_{ef}$ (se mide en Voltio-Amperios)

Factor de potencia

Se define **factor de potencia**, f.d.p., de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S:

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S}$$

- Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa.

- f.d.p = 1 en cargas puramente resistivas

- f.d.p = 0 en elementos inductivos y capacitivos ideales sin resistencia

Triangulo de potencias

Visualización grafica

- **Potencia activa**

$P = Re[\bar{S}] = V_{ef}\, I_{ef} \cos(\varphi)$

- **Potencia reactiva**

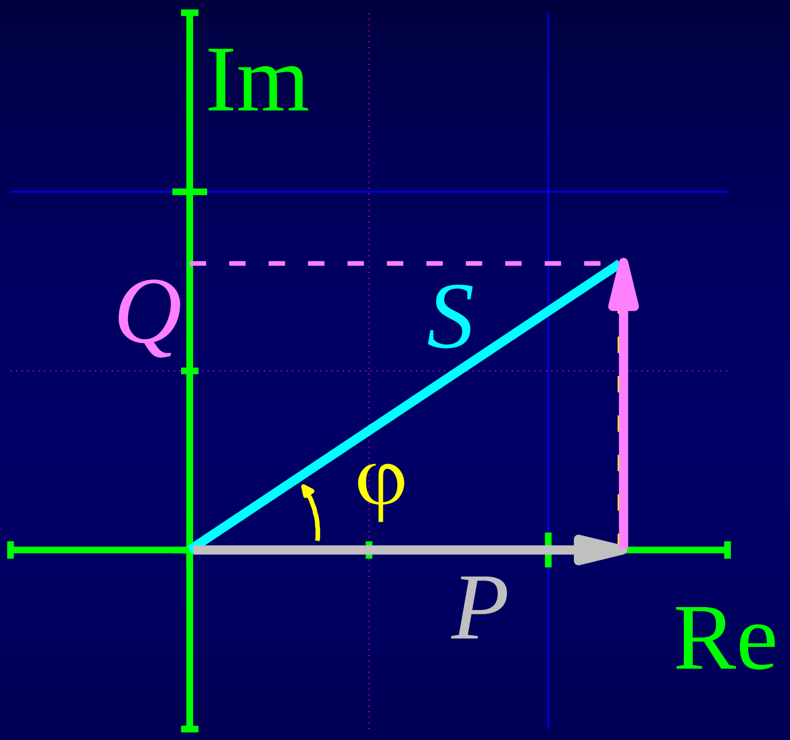
$Q = Im[\bar{S}] = V_{ef}\, I_{ef} \sin(\varphi)$

- **Potencia aparente**

$S = |\bar{S}| = V_{ef}\, I_{ef}$

- **Factor de potencia**

$\cos(\varphi) = \frac{P}{S}$



Problemas 13, 21, 18

Mejora del factor de potencia

A menudo es posible ajustar el factor de potencia de un sistema a un valor muy próximo a la unidad.

• Esta práctica es conocida como mejora o corrección del factor de potencia y se realiza mediante la conexión de bancos de condensadores o de inductancias.

Ej.: red eléctrica con $V_{ef} = 220\text{V}$

potencia activa $P = 1\text{kW}$

con f.d.p. (1) $\cos\varphi = 1$ (2) $\cos\varphi = 1$

calcular I y S

La corrección puede estar hecha

• en serie
• en paralelo

Mejora del f.d.p: en serie

Impedancia $Z = R + i X$
tiene disfase $\varphi = \mathrm{arctg}\ X/R$
diferente de cero.

Para corregir f.d.p. conectando un elemente puro X' en serie, este tiene que ser de $X' = -X$

Es decir
- en un circuito inductivo ($X>0$, $\varphi>0$) hay que conectar un condensador con $C = 1 / (\omega X)$
- en un circuito capacitivo ($X<0$, $\varphi<0$) hay que conectar una inducción con $L = |X| / \omega$

Mejora del f.d.p: en paralelo

Impedancia $Z = R + i X$
tiene desfase $\varphi = \mathrm{arctg}\ X/R$
diferente de cero.

Para corregir f.d.p. conectando un elemente puro X' en paralelo,

- este tiene que ser de $X' = -(R^2 + X^2) / X$

- en forma polar $X' = -Z / \sin \varphi$

Problema 15, 20

2.7. Superposición de señales. Ancho de banda.

Подробнее – скорости передачи
Потоки данных

2.7. Superposición de señales. Ancho de banda.

Información - Es un conjunto de datos procesados que se interrelacionan lógicamente, con significado para el receptor y que reduce la incertidumbre, permitiendo la toma de decisiones.

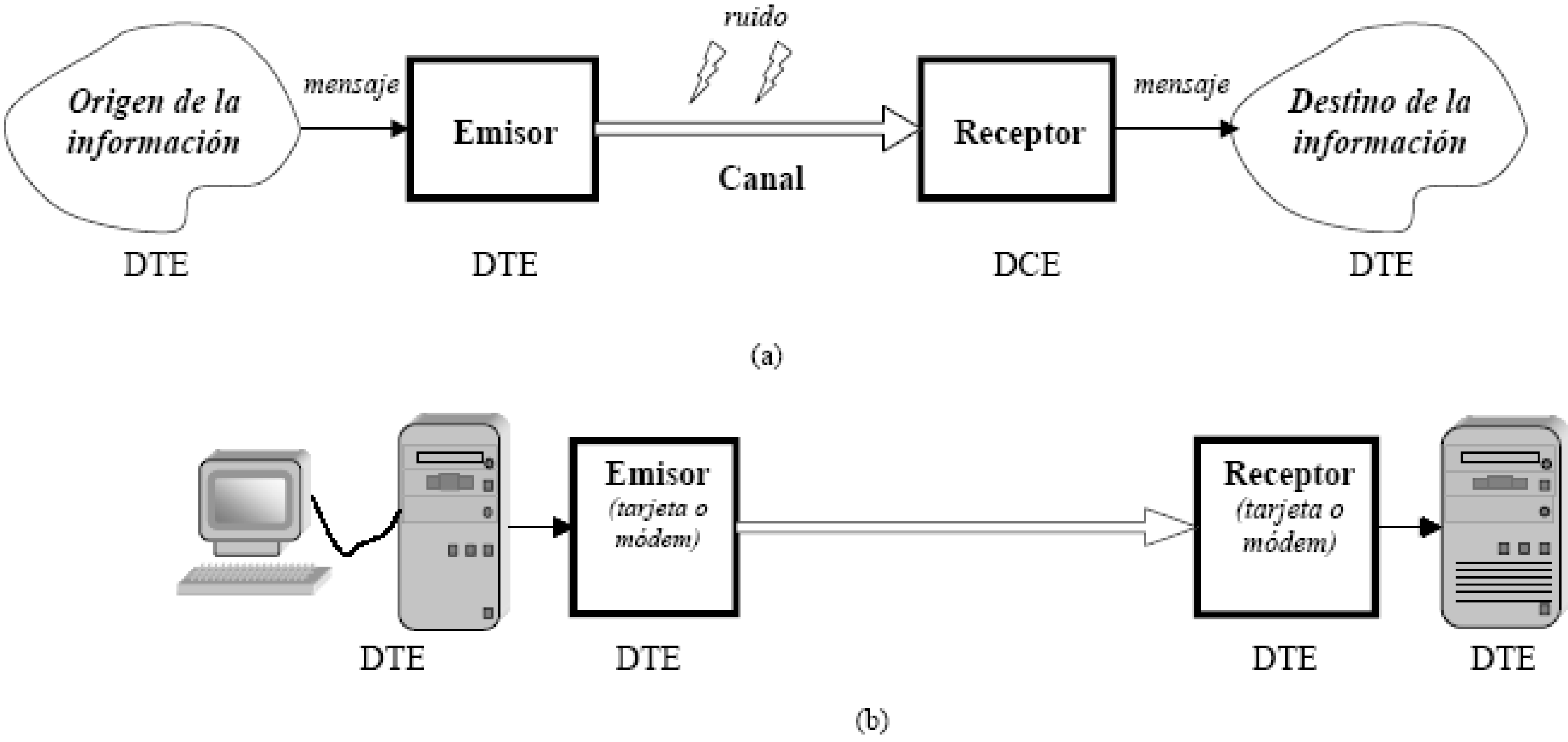
Telecomunicación.- Transporte de Información en el cual la propagación de la señal se hace en combinación de medios electromagnéticos u ópticos

Dato.- Señal que se va a procesar

Procesamiento.- La señal de entrada es sometida a un proceso de transformación mediante la aplicación de un conjunto de operaciones lógicas y/o matemáticas para obtener un resultado o solución

Esquema de comunicación

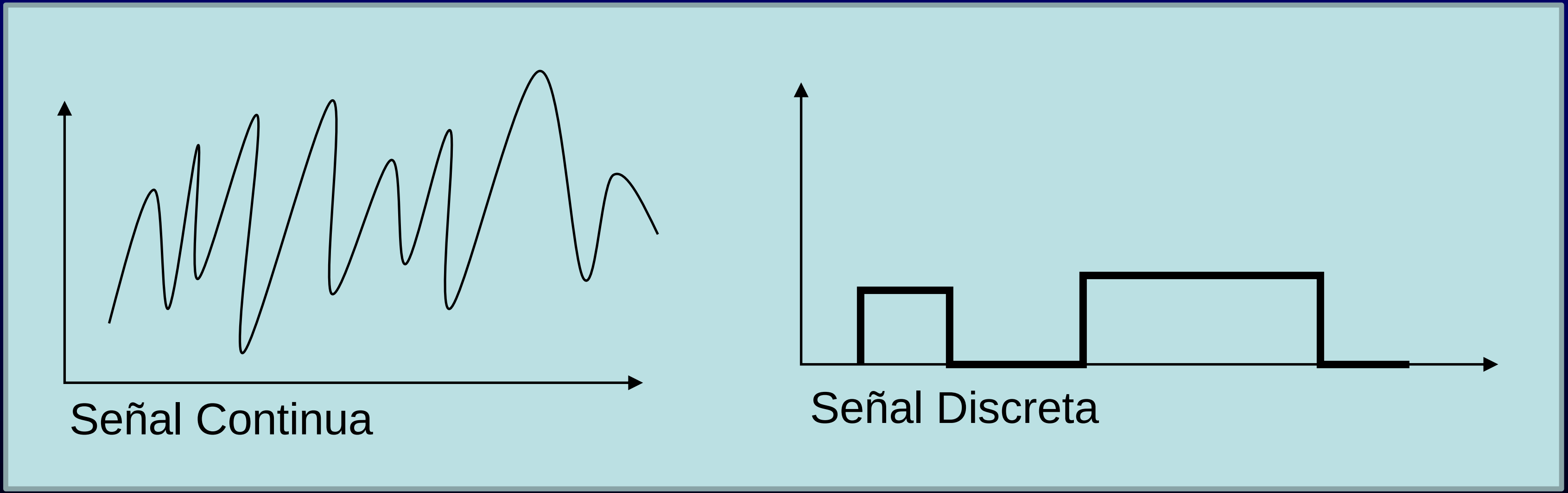
Figura 13.2: a) **Esquema simplificado de un sistema de comunicación; b) esquema simplificado de un sistema para transmisión de datos.**



Señal continua y discreta

• Una señal *F*(*t*) es **continua** si:
La señal varia durante el tiempo pero tiene una representación para todo *t* con una función continua.

• Una señal es **discreta** si:
está compuesta de un número finito de valores

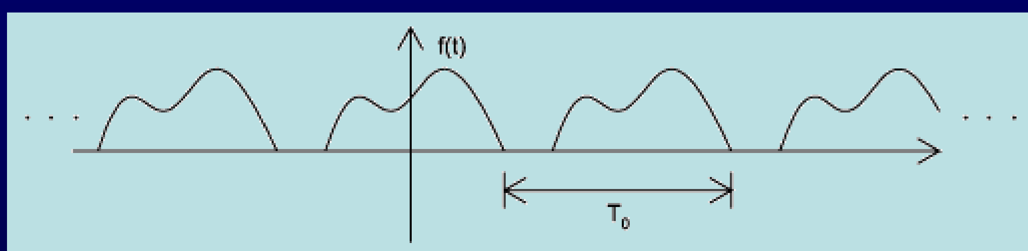


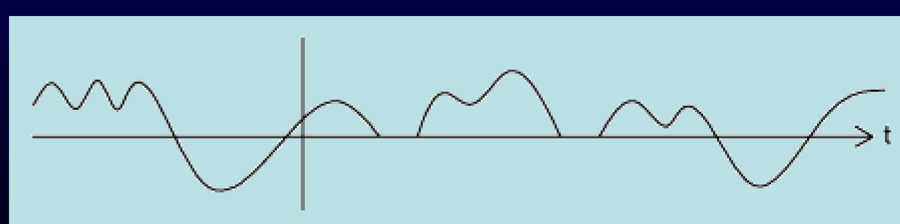
Conceptos básicos de señales

- Una señal $F(t)$ es periódica si y sólo si:

$$F(t+T) = F(t)\,, \qquad -\infty < t < +\infty$$

donde T es el **periodo** de la señal.

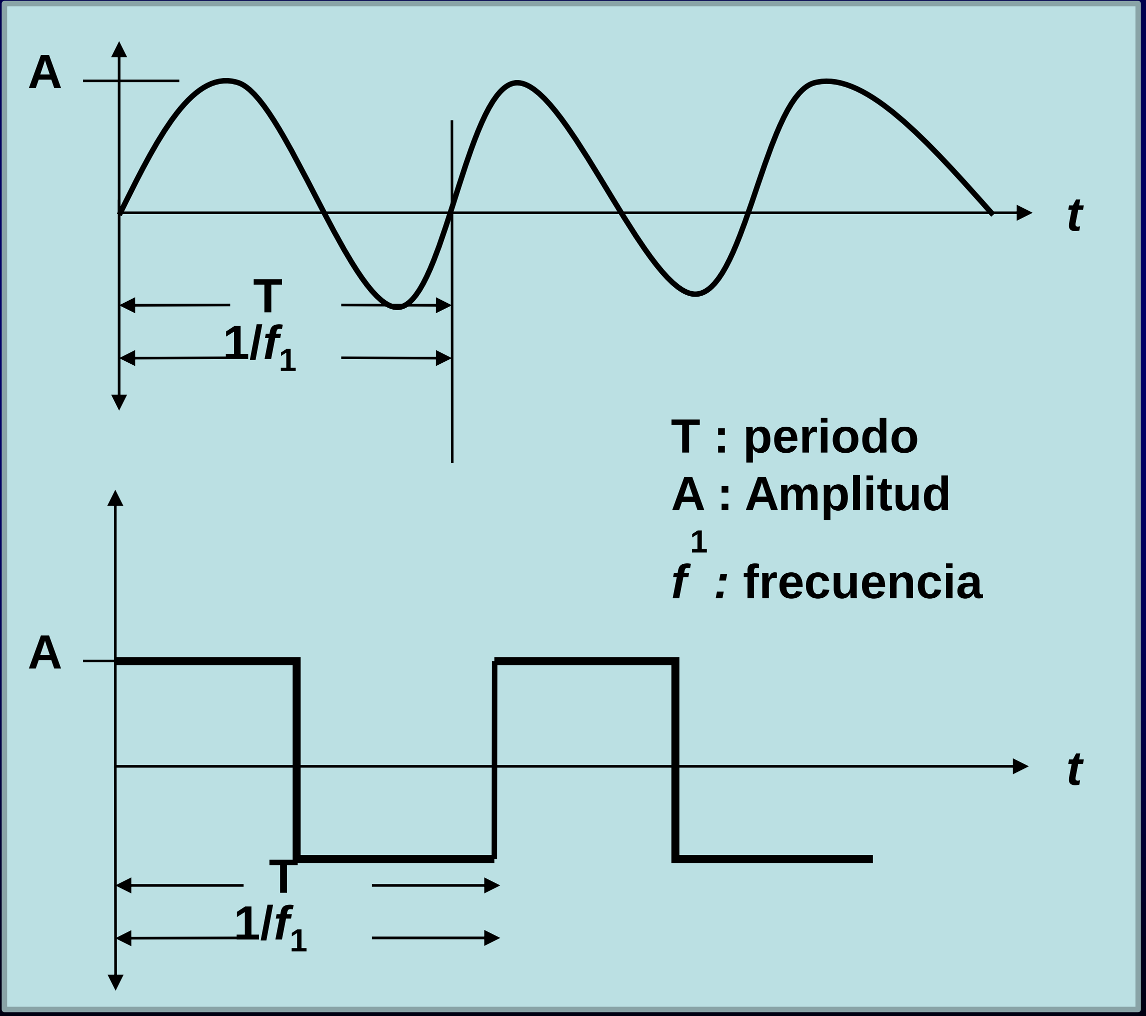




Conceptos básicos de señales

Las tres características más importantes de una señal periódica son:

1. Amplitud
2. Frecuencia
3. Fase



Amplitud

Amplitud.

- Es una medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódica o cuasiperiódicamente en el tiempo.

- Es la distancia máxima entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio o medio.

- En transmisión de datos, la amplitud está medida en volts.

Frecuencia

Frecuencia.

- **Es el inverso del periodo ($1 / T$)**

- **Representa el número de repeticiones de un periodo por segundo.**

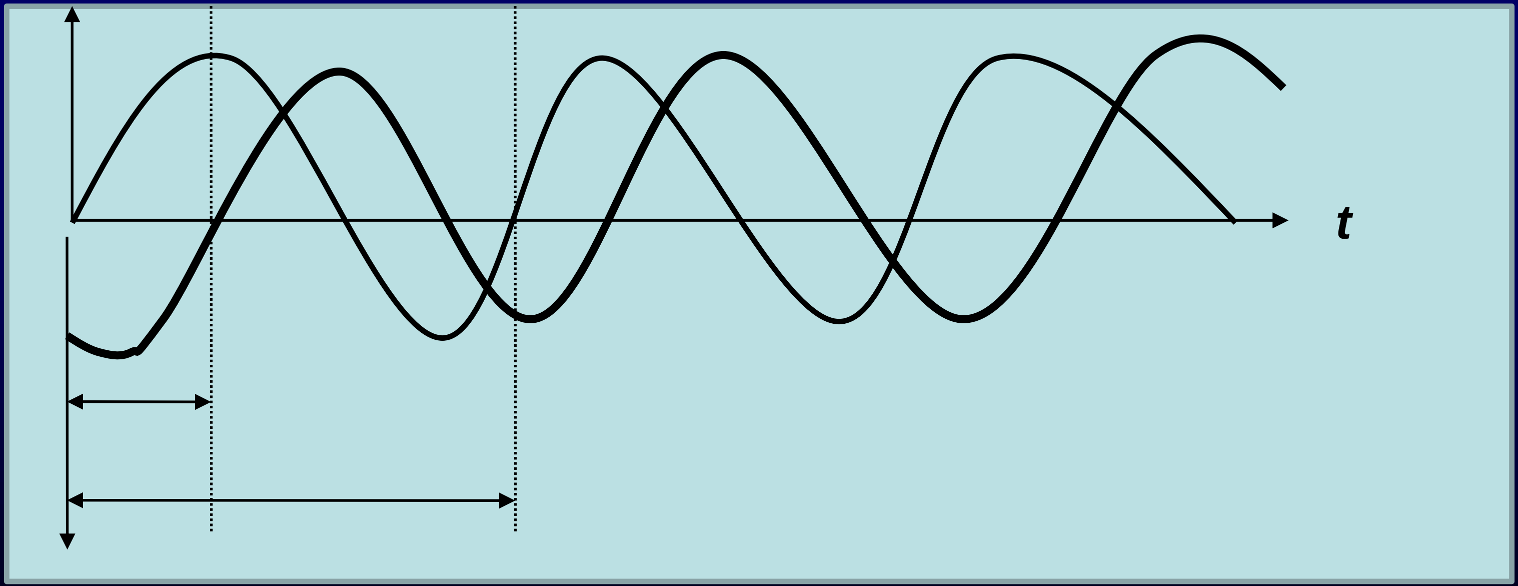
- **Expresado en ciclos por segundo, o hertz (Hz).**

Fase

Fase.

- **La fase indica la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varía cíclicamente.**

- **Es una medida de la posición relativa en el tiempo del periodo de una señal.**



Señal sinusoidal

Una señal sinusoidal puede ser expresada como:

$$F(t) = A \sin(2\pi f_1 t + \theta)$$

- A es la amplitud
- f_1 es la frecuencia
- θ es la fase

Recordemos que:

2π radianes $= 360^{\circ} = 1$ periodo

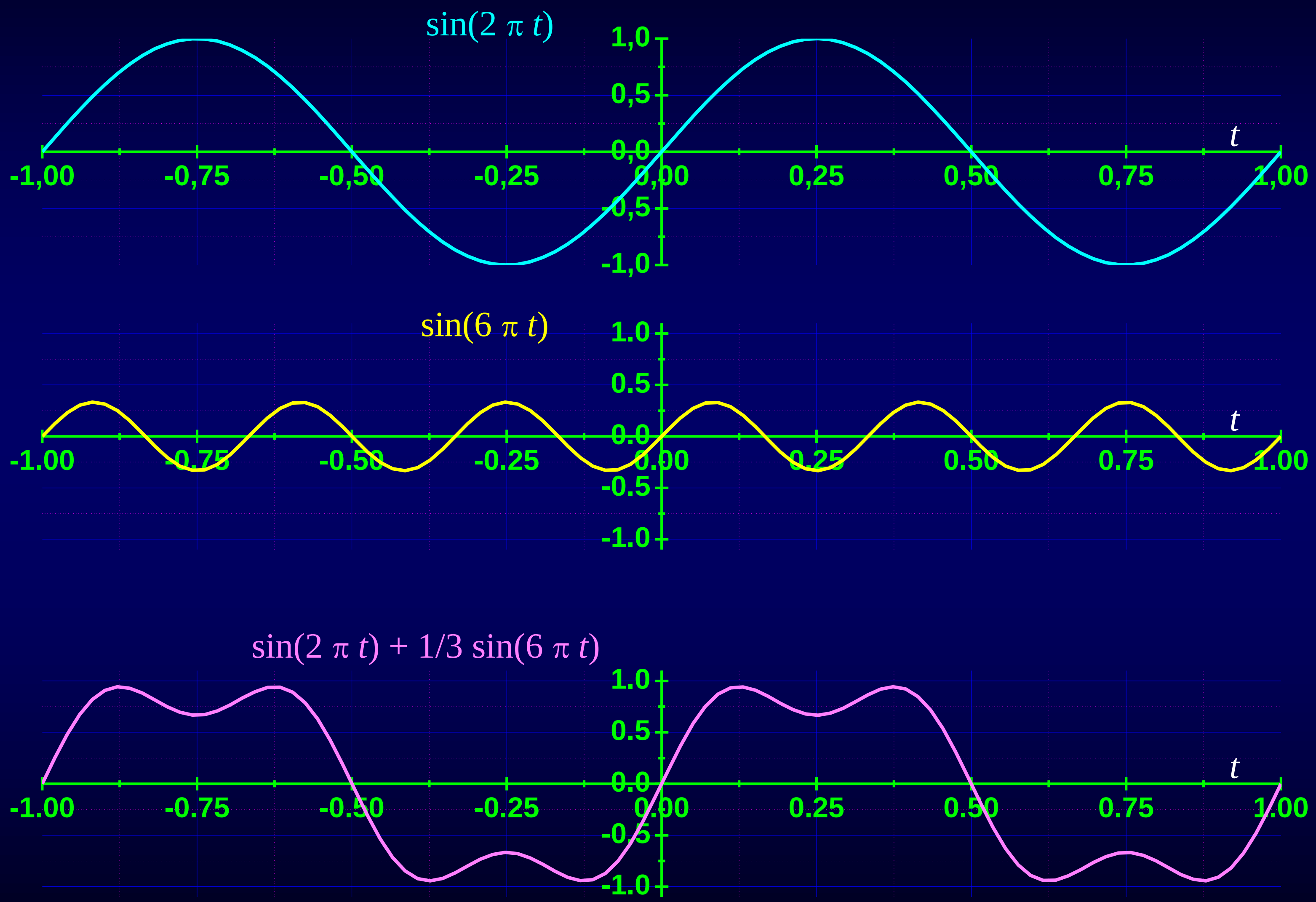
Suma de señales

Por ejemplo, para la señal:

$$F(t) = \sin(2\,\pi\, f_1\, t) + 1/3 \sin(2\,\pi\,(3\, f_1)\, t)$$

los componentes de esta señal son ondas sinusoidales de frecuencias f_1 y $3\,f_1$ respectivamente.

Suma de señales



Suma de señales

- La segunda frecuencia es múltiplo de la primera.

- Cuando todas las frecuencias en los componentes de una señal son múltiplos de una frecuencia, a esta última se le conoce como frecuencia **fundamental**.

- El periodo de la señal total es igual al periodo de la frecuencia fundamental.

- Como el periodo del componente $\sin(2\pi f_1 t)$ es $T = 1 / f_1$ entonces el periodo de $F(t)$ es también T.

Espectro

El **espectro** es el rango de frecuencias contenido en la señal.

- Para el ejemplo anterior,

$F(t) = \sin(2\pi f_1 t) + 1/3 \sin(2\pi (3 f_1) t)$

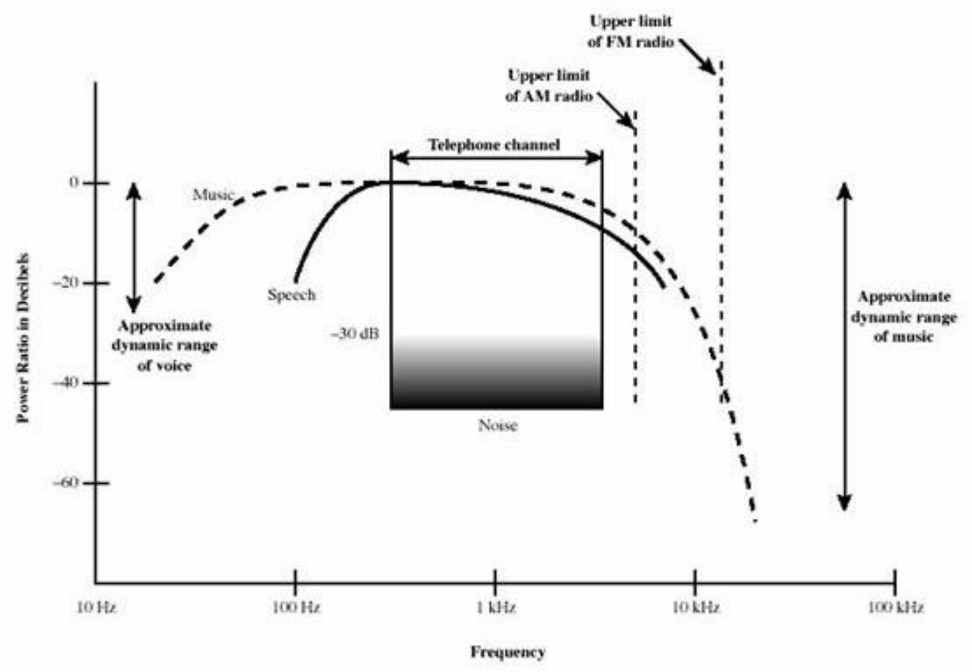
el espectro va de f_1 a $3f_1$.

Ancho de banda

El ancho de banda absoluto de una señal está dado por el tamaño del espectro.

- En el ejemplo anterior, el ancho de banda es de $2f_1$.

El ancho de banda es el conjunto de frecuencias (harmónicos) que contiene la energía de la señal.



Ancho de banda: ejemplos

Tabla 13.2. Ancho de banda de algunas señales

Señales analógicas: ▪ Voz humana ▪ Voz a través de teléfono ▪ Señal de video (TV)	 0 a 4 KHz 0,2 a 3,4 KHz 0 a 4,6 MHz
Señales digitales: ▪ Tren de impulsos de frecuencia F bps	 2·F Hz [1]
[1] En realidad el ancho de banda es mayor, pero el indicado es suficiente para reconstruir los pulsos	

La transformada de Fourier discreta

El análisis de transformación de Fourier discreta, permite demostrar que cualquier señal periódica $F(t)$ puede ser presentada con una suma de los componentes de diferentes frecuencias, en donde cada uno es una sinodal.

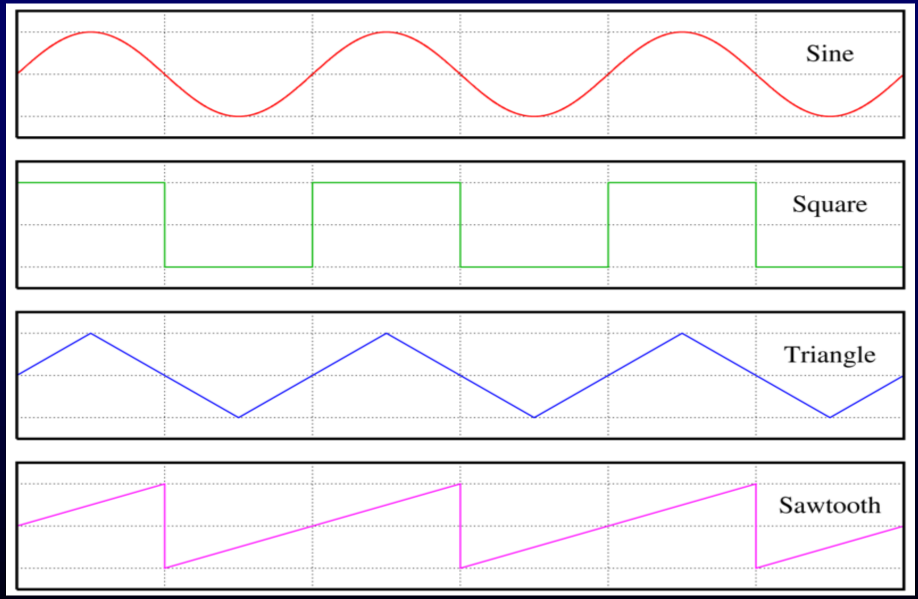
$$F(t)=\frac{1}{2}A_0+\sum_{n=1}^{\infty}[A_n\cos(n\omega_0 t)+B_n\sin(n\omega_0 t)]$$

$$A_n=\int_0^T F(t)\cos(n\omega_0 t)\,\mathrm{d}t,$$

$$B_n=\int_0^T F(t)\sin(n\omega_0 t)\,\mathrm{d}t$$

$f_n = n\omega_0/(2\pi) = n/T$

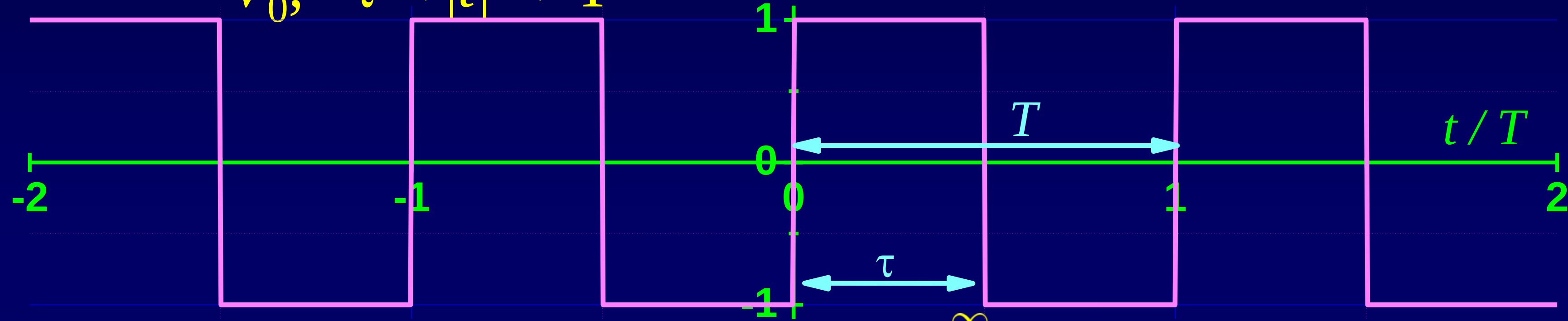
es la frecuencia (en Hz) de la n-ésima harmónica



Señal cuadrada

de amplitud V_0**, periodo** T **y duración** $\tau = T/2$ **es**

$$f(t) = \begin{cases} V_0\,, & 0 < |t| < \tau \\ -V_0, & \tau < |t| < T \end{cases}$$



Transformada Fourier $f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n \cos(n\omega_0 t) + a_n \sin(n\omega_0 t)]$

con coeficientes: $a_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos(n\omega_0 t)\, dt \qquad b_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin(n\omega_0 t)\, dt$

$a_n = 0$ **(señal original** $f(t)$ **es una función par)**

$b_n = 4\, V_0 / (\pi\, n) \sin^2(\pi\, n/2)$

- diferente de 0 solo para $n = 1, 3, 5, \ldots$

Señal cuadrada

Los componentes de frecuencia en una señal cuadrada de amplitud V_0 están dados por:

$$f(t) = \frac{4}{\pi} V_0 \left[\sin(\omega_0 t) + \frac{1}{3}\sin(3\omega_0 t) + \frac{1}{5}\sin(\omega_0 t) + ... \right]$$

con n-s impares.

- **El número de componentes de frecuencia es infinito, por lo tanto, el ancho de banda también es infinito.**

- **Sin embargo, la amplitud del n-ésimo componente de frecuencia $n\, f_1$, es $1 / n$.**

- **Así, la mayor parte de la energía en onda cuadrada está en los primeros componentes de frecuencia.**

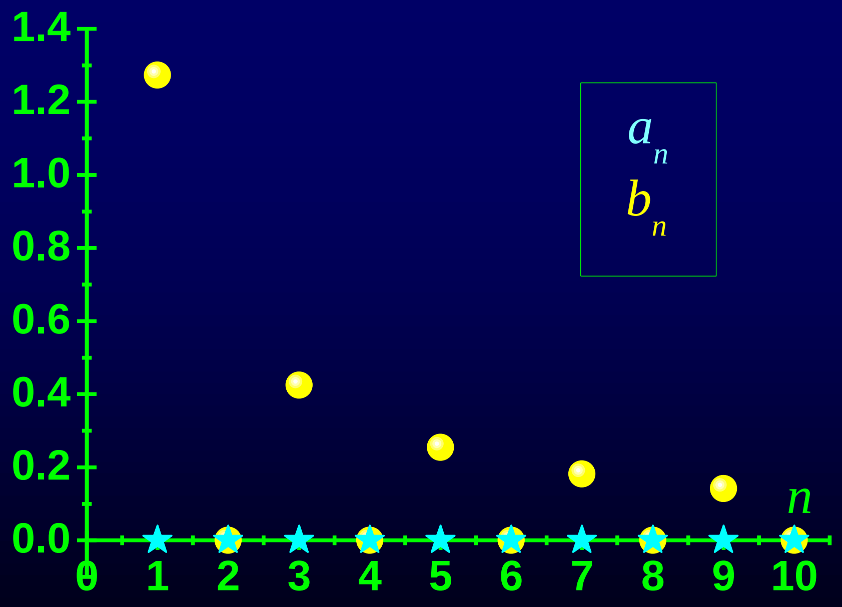
Señal cuadrada

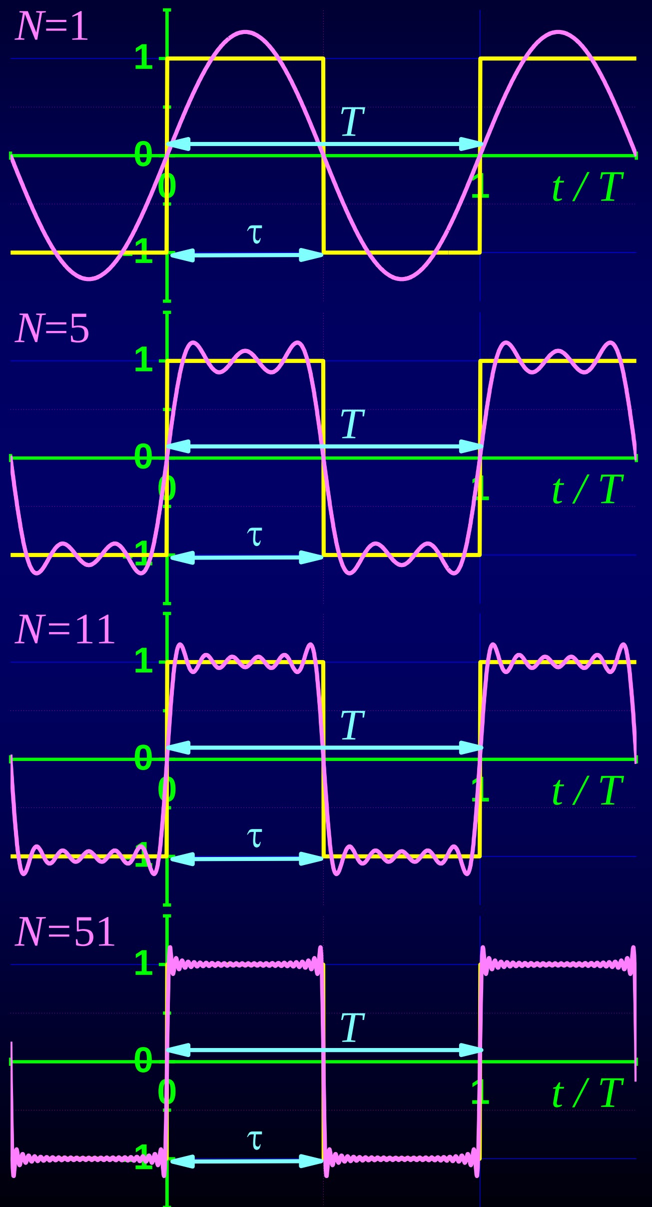
Fourier Java applet

http://phet.colorado.edu/en/simulation/fourier

Señal cuadrada

Imágenes:
a) espectro
b) la suma de harmónicas hasta (1), (5), (11), (51) términos





Problemas 23, 24

Transformada rápida de Fourier

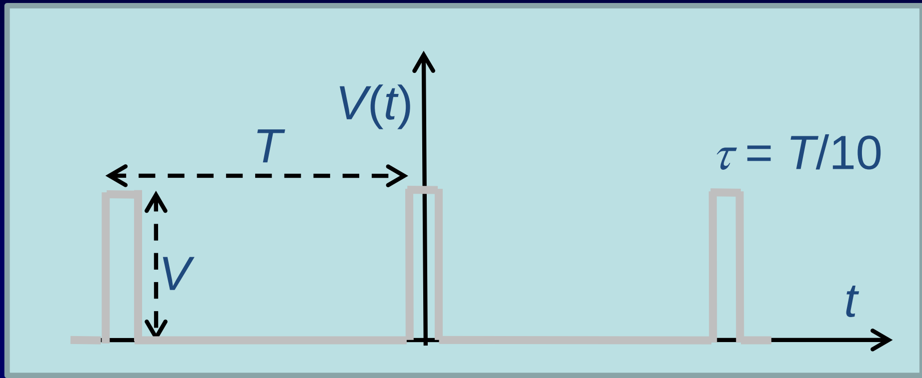
FFT es la abreviatura usual (del *inglés Fast Fourier Transform*) de un eficiente algoritmo que permite calcular la transformada de Fourier discreta y su inversa.

• La señal de la que se tomaron muestras y que se va a transformar debe consistir de un número de muestras igual a una potencia de dos (tipicamente 512, 1024, 2048 o 4096 muestras).

• La evaluación directa de esa fórmula requiere $O(n^2)$ operaciones aritméticas. Mediante un algoritmo FFT se puede obtener el mismo resultado con sólo $O(n \log n)$ operaciones

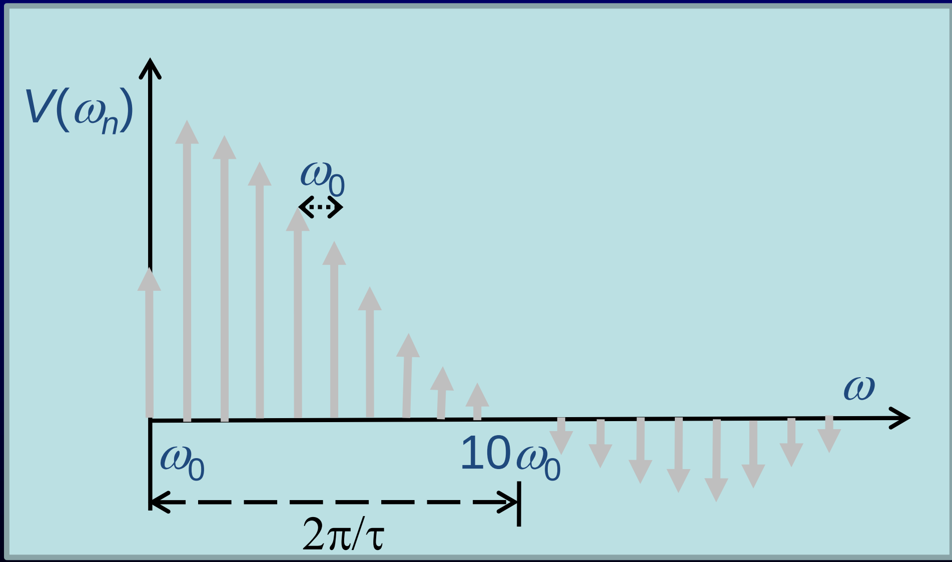
Tren de pulsos cuadrados

Tren de pulsos cuadrados de duración τ **y período** $T = 10\tau = 2\pi/\omega_0$**:**

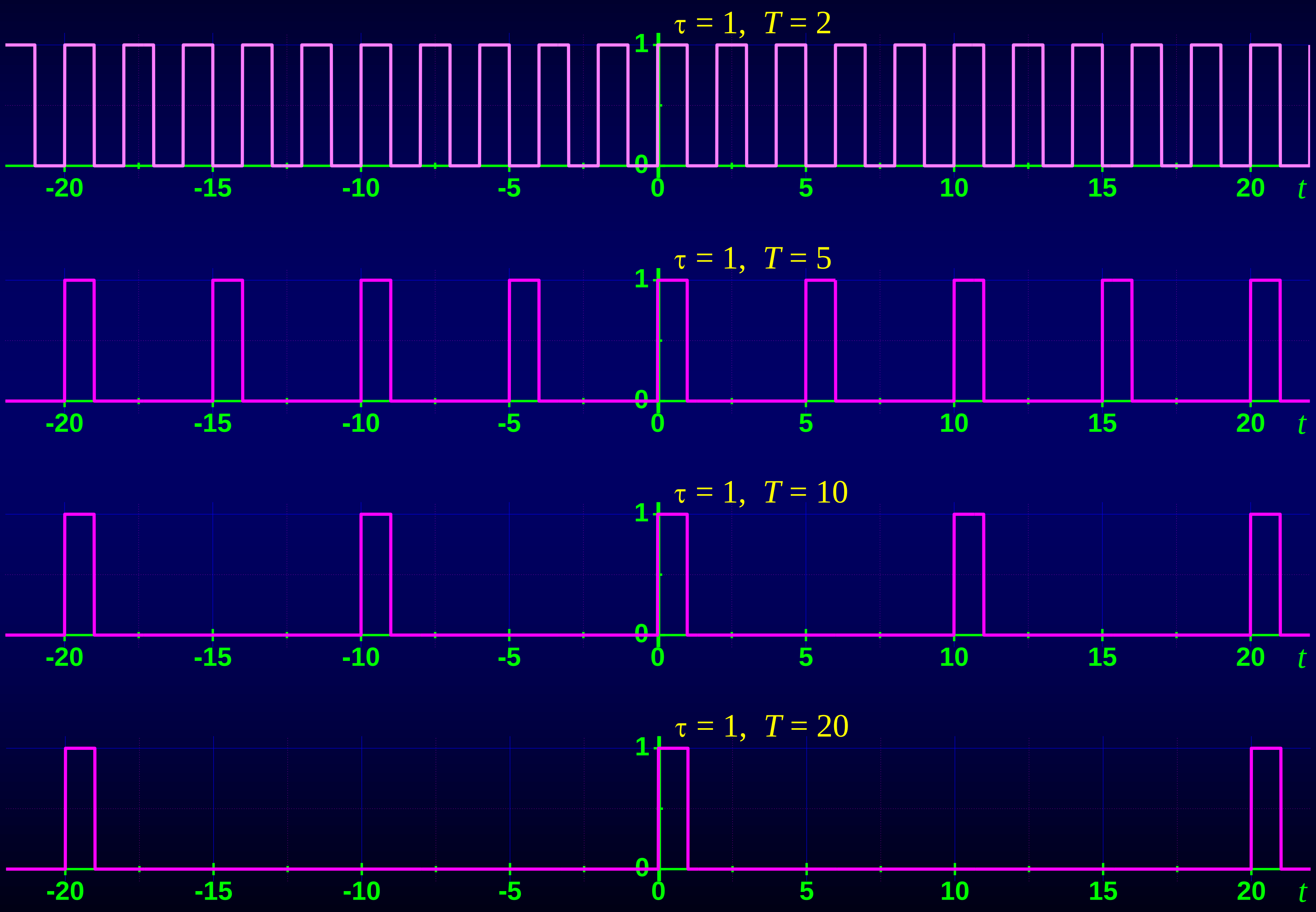


$$V(\omega_n) = A_n = 2V_0\,\omega_0\tau\,\frac{\sin(\omega_n\tau/2)}{\omega_n\tau/2}$$

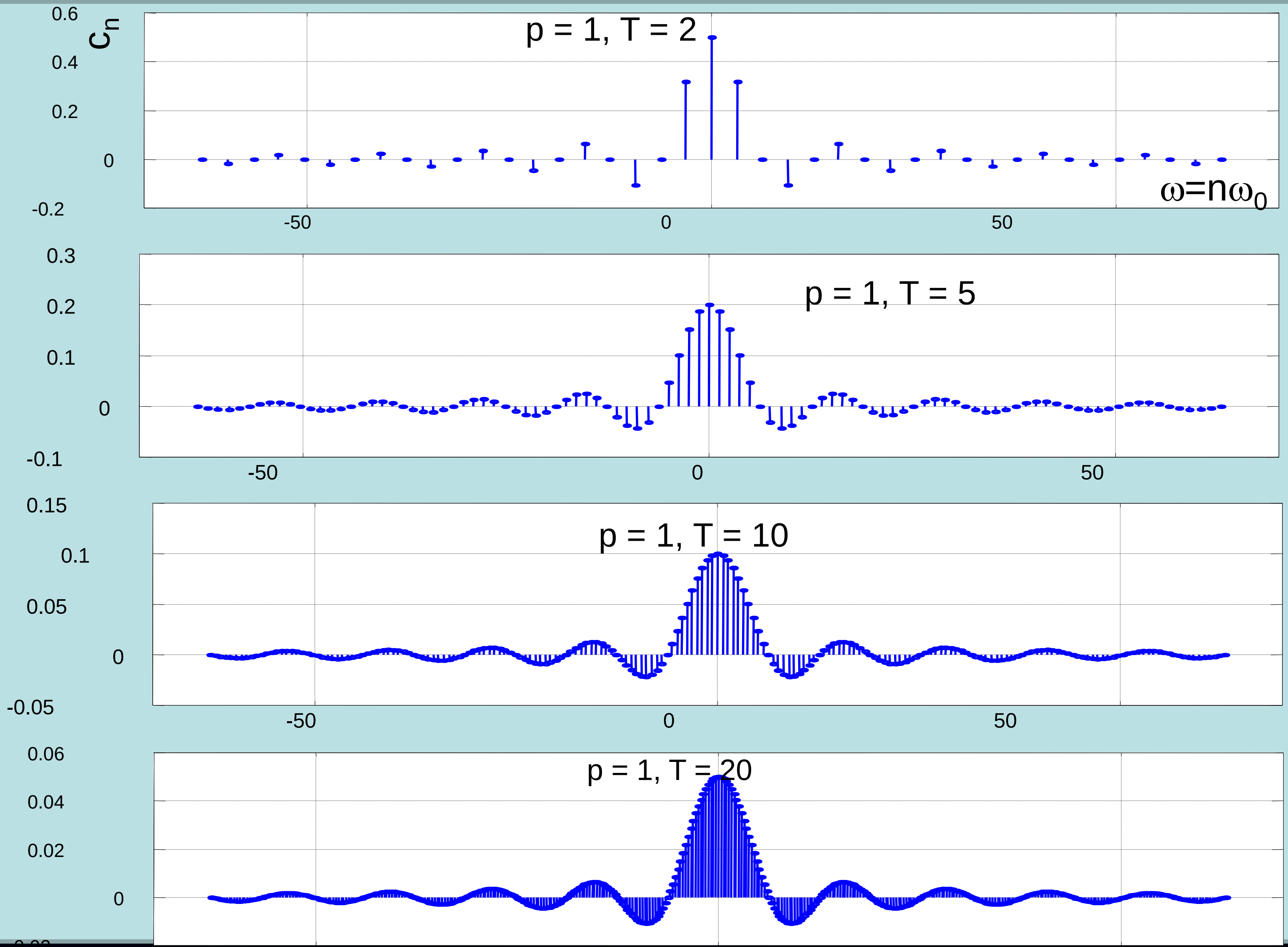
Cuanto más grande es T/τ**,**
más pequeña es
$\omega_0 = \Delta\omega = 2\pi/T$**,**
hay más harmónicos,
y están más cercanos.



Si el periodo de pulsos aumenta



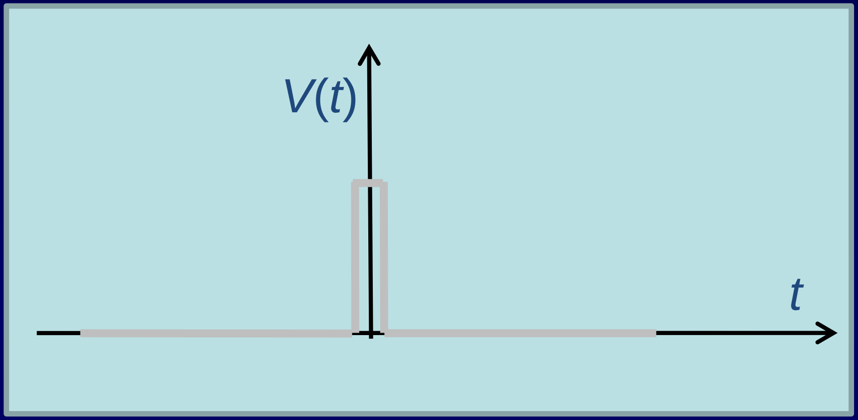
...el espectro se "densifica"



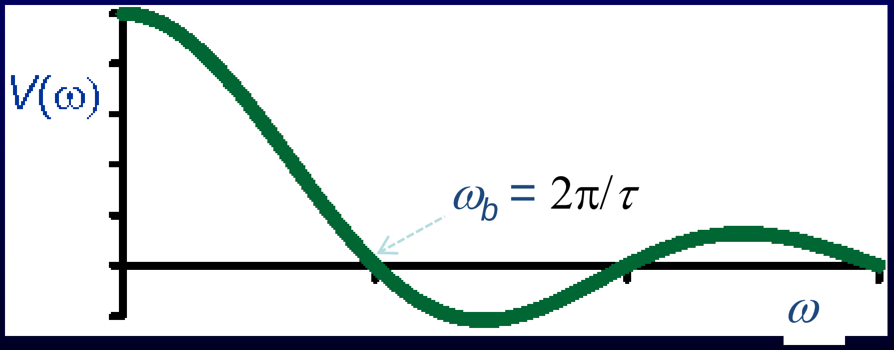
Pulso individual

La transformación de Fourier de un pulso cuadrado individual se obtiene en el límite de T infinito.

$$F(\omega) = 2V_0\,\omega\tau\,\frac{\sin(\quad/2)}{\omega\tau/2}$$



• El espectro discreto se convierte en un espectro continuo.



La transformada de Fourier continua

El razonamiento anterior nos lleva a reconsiderar la expresión de una función $f(t)$ no periódica en el dominio de la frecuencia, no como una suma de armónicos de frecuencia $n\,\omega_0$, sino como una función continua de la frecuencia ω.

Así, la serie:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{in\omega_0 t}$$

al cambiar la "variable discreta" $n\,\omega_0$ (cuando $T\rightarrow\infty$) por la variable continua ω, se transforma en una integral de la siguiente manera:

$$f(t) = \tfrac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

Ancho de banda, pulso individual

Ancho de banda f_b de un pulso individual:

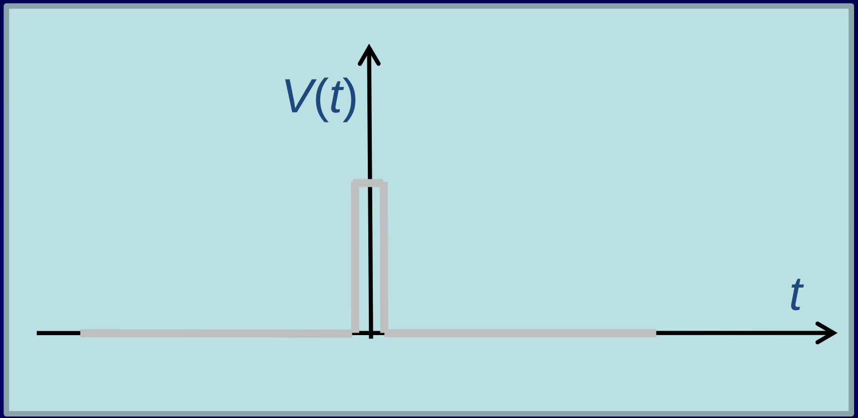
frecuencia $f_b = \omega_b / 2\pi$

en la cual

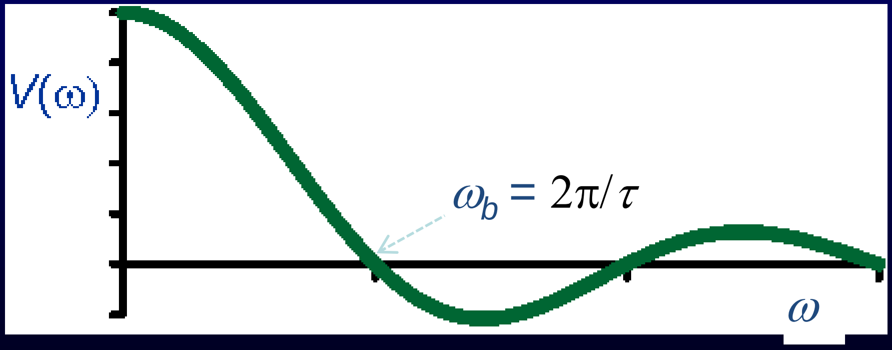
$$V(\omega_b) = (2V\tau)\frac{\sin(\omega_b\tau/2)}{\omega_b\tau/2} = 0$$

por la primera vez.

$f_b = \omega_b / 2\pi = 1/\tau$



Más corto es el pulso, más ancha es la banda, más harmónicas son necesarias para codificar la señal.

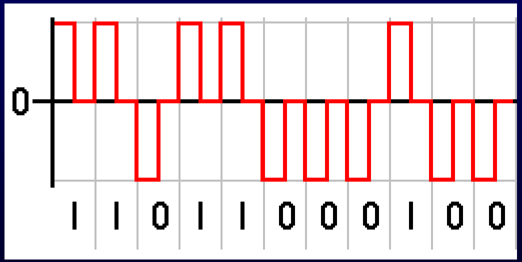


Códigos RZ

Retorno a Cero (RZ) es un sistema de codificación usado en telecomunicaciones en el cual la señal que representa a cada bit retorna a cero en algún instante dentro del tiempo del intervalo de bit.

- **No es necesario enviar una señal de reloj adicional a los datos. Por tanto, las secuencias largas de “unos” o de “ceros” ya no plantean problemas para la recuperación del reloj en el receptor.**

- **Duración de un bit es doble de la duración de un pulso** $T_{bit} = 2\tau$



Velocidad de transmisión

Cualquier sistema de transmisión tiene limitado su ancho de banda

f_b - Ancho de banda [*bandwidth*]: ciclos por segundo o hertzios (Hz).]

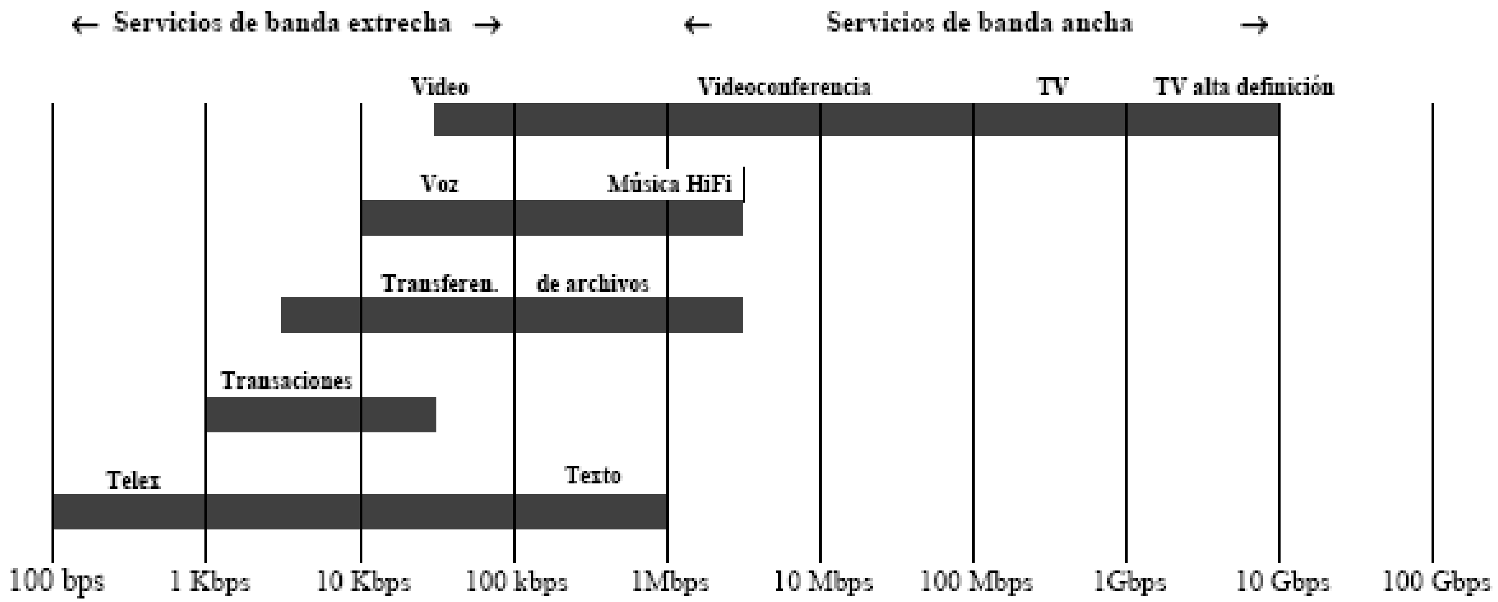
V - Velocidad de transmisión de información [*data rate*]: bits por segundo (bps)

$$V = 1/T_{bit} = 1/(2\tau) = f_b / 2$$

$$\boxed{V_{max} = f_b /2}$$

Rangos de velocidades de transmisión

Figura 13.1 Rangos de velocidades de transmisión requeridos por diversas aplicaciones [extraído de For98]



Ejemplos de velocidades de transmisión

	v	f_b	τ	medi
Modem 56k	56 kbit/s	112 kHz	8.9 ms	Cable trenat
ADSL 2+	24 Mbit/s	48 MHz	20.8 ns	Cable trenat
Bluetooth 3.0	24 Mbit/s	48 MHz	20.8 ns	Wireless
Mobil 4G	100 Mbit/s	200 MHz	5 ns	Wireless
Serial ATA 3	4.8 Gbit/s	9.6 GHz	0.1 ns	Disc dur-placa base
USB 3.0 Super speed	5 Gbit/s	10 GHz	0.1 ns	Memòria USB
10 Gbits Ethernet	10 Gbit/s	20 GHz	50 ps	Fibra òptica
DDR3-SDRAM	422 Gbit/s	844 GHz	1.2 ps	Bus memòria

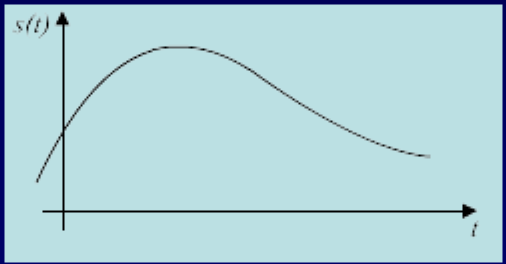
Teorema fundamental de la teoría de la información

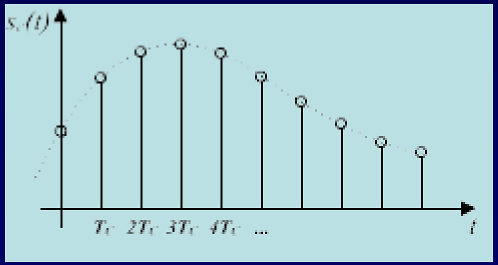
El teorema de muestreo / criterio de Nyquist, también conocido como teorema de Nyquist/Shannon/Kotelnikov

la reconstrucción exacta (matemáticamente reversible en su totalidad) de una señal periódica continua a partir de sus muestras, es posible matemáticamente si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda.
i.e. la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear.

Ejemplo: CD-Audio

• La máxima audiofrecuencia perceptible para el oído humano joven y sano está en torno a los **20 kHz**





• Para CD-Audio la tasa es de **44100** muestras por segundo

• La frecuencia critica es de **22,05 kHz**

• La frecuencia de muestreo ligeramente superior permite compensar los filtros utilizados durante la conversión analógica-digital.

Baudio y bit

El **baudio** (en inglés *baud*) es una unidad de medida, usada en telecomunicaciones, que representa la cantidad de veces que **cambia el estado** de una señal en un periodo de tiempo.

La **tasa de baudios** (en inglés *Baud Rate*), también conocida como baudaje, es el número de unidades de señal por segundo. Un baudio puede contener varios bits.

Bit es el acrónimo *Binary digit o* dígito binario.

La **tasa de bits** (en inglés *bit rate*) define el número de bits que se transmiten por unidad de tiempo.

Baudio vs bit

- En el caso de las máquinas telepipo los eventos son simples cambios de voltaje

  1 → (+),

  0 → (-),

  cada evento representa un solo bit o impulso elemental, y su velocidad de transmisión en bits por segundo **coincide** con la velocidad en baudios.

- En los módems que utilizan diversos niveles de codificación, por ejemplo mediante modulación de fase, cada evento puede representar más de un bit, con lo cual ya **no coinciden bits por segundo y baudios**.

  módem de 2400 baud – velocidad máxima 14400 bit/s

  módem de 3200 baud – velocidad máxima 28800 bit/s

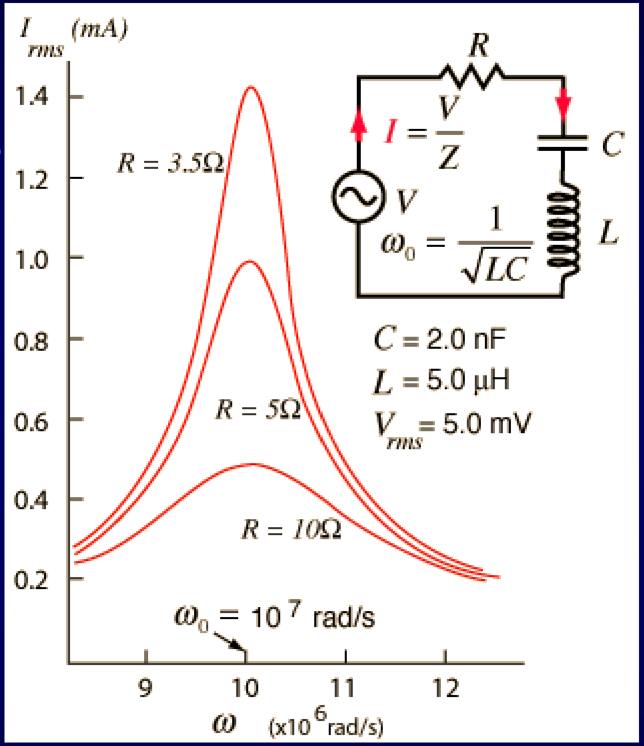
  módem de 8000 baud – velocidad máxima 56000 bit/s

Problemas 26, 27

Resonancia

• La resonancia en los circuitos AC se produce a una frecuencia especial determinada por los valores de la resistencia, la capacidad, y la inductancia.

• La condición de resonancia en los circuitos series es muy sencilla y se caracteriza porque la impedancia es mínima y el ángulo de fase es cero.



$\omega_0 = 1 / (L\ C)^{1/2}$

$f_0 = 1 / [2\ \pi\ (L\ C)^{1/2}]$

2.9 Filtros

- **Un filtro eléctrico** es un aparato que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él.

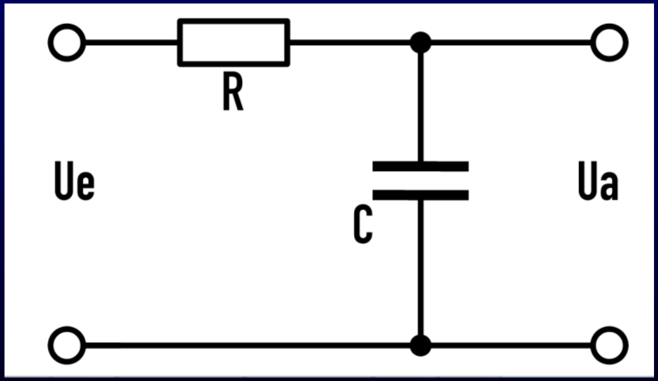
- Con independencia de la realización concreta del filtro su forma de comportarse se describe por su **función de transferencia**.

- Algunos filtros básicos pueden ser compuestos por un circuito RC o RL.

Circuito RC

• Un circuito RC es un circuito compuesto por una resistencia y un condensador. La alimentación viene dada por el voltaje en la entrada (Vin).

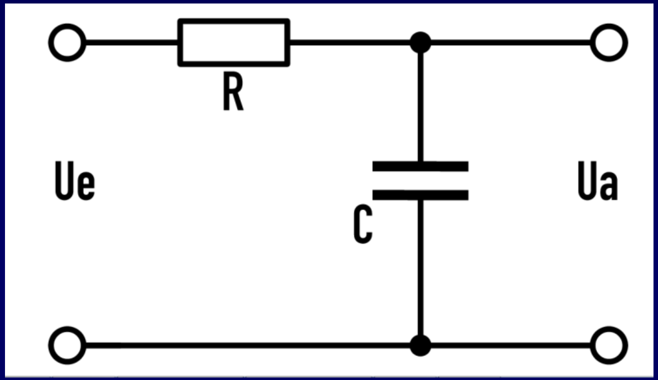
Los circuitos RC pueden usarse para filtrar una señal, al bloquear ciertas frecuencias y dejar pasar otras. Los filtros RC más comunes son el filtro paso alto, filtro paso bajo



Circuito RC: paso bajo

• la configuración de **paso bajo** el voltaje de la salida (Vout) se coge en bornes del condensador,

$$V_{out} = V_C(\omega) = \frac{1}{1+RC\omega} V_{in}$$



Para frecuencias bajas

$$V_{out} = V_{in}$$

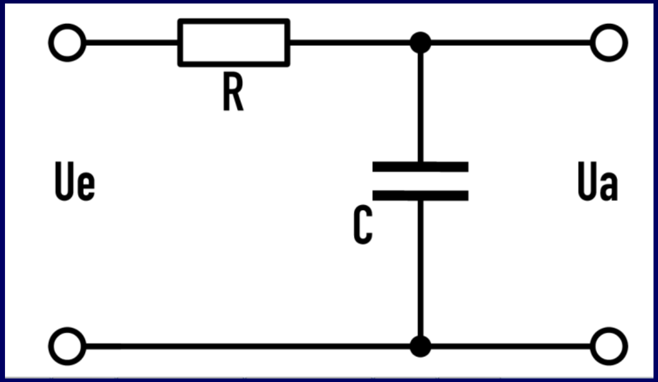
y el filtro deja pasar la señal de entrada sin modificarla.

Para frecuencias altas, $V_{out} \rightarrow 0$
y el filtro bloca la señal.

Circuito RC: paso alto

• la configuración de **paso alto** el voltaje de la salida (Vout) se coge en la resistencia,

$$V_{out} = V_C(\omega) = \frac{RC\omega}{1+RC\omega} V_{in}$$



Para frecuencias altas

$V_{out} = V_{in}$

y el filtro deja pasar la señal de entrada sin modificarla.

Para frecuencias bajas, $V_{out} \rightarrow 0$
y el filtro bloca la señal.

3.5. Circuitos de corriente alterna.

- **a b** $c \cdot d$ **d** $h = 6.62 \times 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}$

3.5. Circuitos de corriente alterna.

- **a** **b** $c \cdot d$ **d** $h = 6.62\times10^{-34}\,\mathrm{J{\cdot}s}$

Material adicional

RC www.sc.ehu.es/acwamurc/transparencias/RC.**ppt**

Autoinducción

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/elecmagnet/induccion/autoinduccion/autoinduccion.htm

Criterio de Nyquist

http://elvex.ugr.es/decsai/internet/pdf/3%20Data%20Transmission.pdf