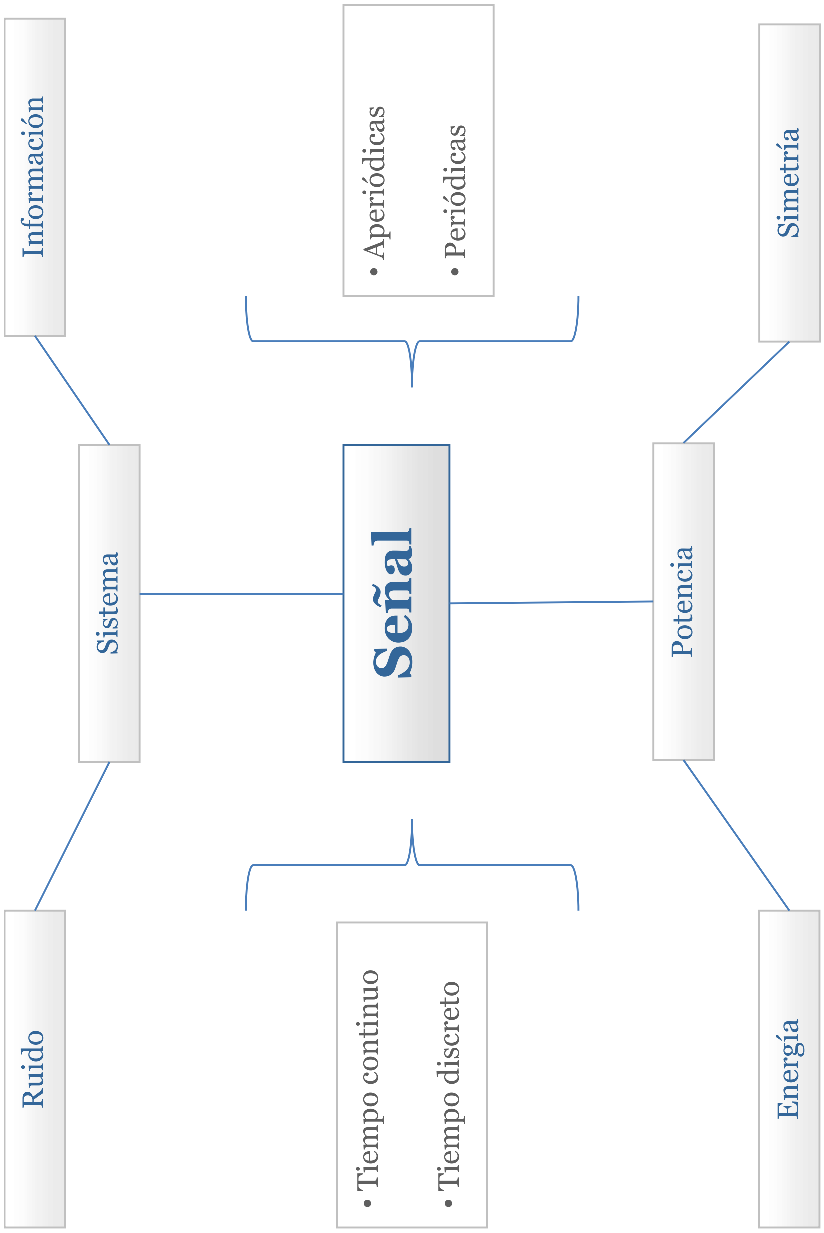
Introducción

TEMA 1

Esquema


Señal
Sistema
Información
Ruido
Aperiódicas
Periódicas
Tiempo continuo
Tiempo discreto
Potencia
Simetría
Energía

Ideas clave

1.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema lee las **Ideas clave** que encontrarás a continuación.

Este tema introduce el concepto de señal, su representación matemática y sus tipos. A continuación se describen propiedades básicas de la señal como son la energía, la potencia o su simetría.

1.2. Definiciones básicas

Una **señal** $x(t)$ es una representación de un fenómeno físico. Habitualmente representaremos variaciones en el tiempo de la señal. En este caso a la variable independiente la llamaremos t. Ejemplos de señales son la propagación de ondas acústicas, el voltaje en un cable o las variaciones en los campos electromagnéticos que se propagan por el espacio.

Un **sistema** es un dispositivo que modifica una señal de entrada $x(t)$ para producir una señal de salida $y(t)$. Aunque el sistema es un proceso físico se puede modelar matemáticamente o simular con un computador. Cuando se trata de un sistema físico a la señal de entrada $x(t)$ también se la llama **excitación** y a la señal de salida $y(t)$ **respuesta**. La figura 1 representa los elementos de la interacción entre una señal y un sistema.

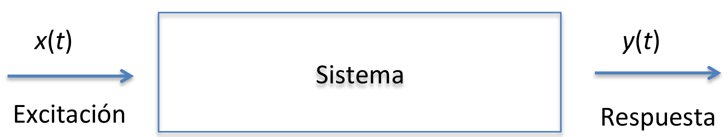
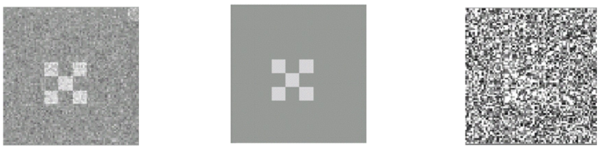


Figura 1: Modelo de señal y sistema

El **ruido** $n(t)$ también es un fenómeno físico variable en el tiempo pero a diferencia de la señal $s(t)$, no transporta información útil, es decir, se considera indeseable. Cuando la señal se usa para transmitir datos, llamamos **información** $i(t)$ a los datos que queremos transmitir sobre la señal.

Esto hace que en la práctica la señal transporte, información y ruido, los cuales no son fáciles de separar. La figura 2 muestra la relación entre señal, información y ruido en el caso de una imagen digital. En la figura vemos cómo cuando una señal $s(t)$ se usa para transmitir una información $i(t)$, a esta información se le suma un ruido $n(t)$.



$$s(t) \;=\; i(t) \;+\; n(t)$$

Figura 2: Relación entre señal, información y ruido en imágenes digitales

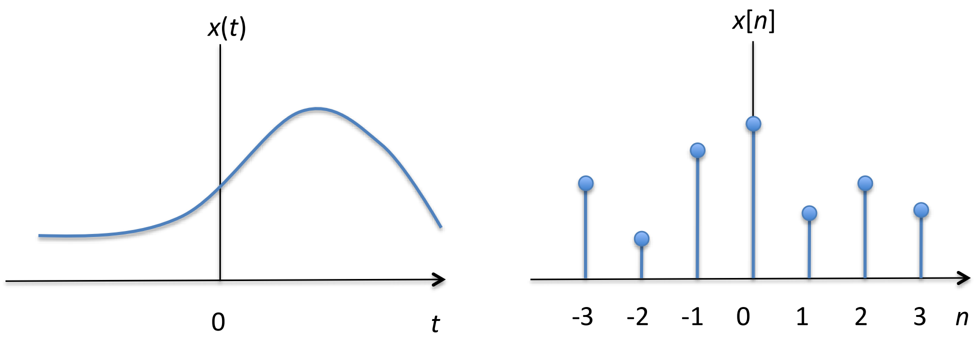
En el resto de esta asignatura vamos a ignorar el ruido y asumir que $s(t)=i(t)$.

1.3. Tipos de señales

En esta sección vamos a clasificar las señales en función de su evolución en el tiempo (continua o discreta), su evolución en valor (continuo o discreto), de la posibilidad de predecir cómo evolucionará (deterministas y aleatorias) y de su periodicidad (finita o infinita).

Señales de tiempo continuo y discreto

Una señal **de tiempo continuo** $x(t)$ es una señal cuyo valor está definido en todo instante de tiempo. La figura 3 (a) muestra un ejemplo de señal de tiempo continuo.



(a) Señal de tiempo continuo

(b) Señal de tiempo discreto

Figura 3: tiempo continuo y discreto

Una señal **de tiempo discreto** $x[n]$ está definida solo en determinados instantes de tiempo. Habitualmente estos periodos se representan como una secuencia de números enteros n. Para diferenciarlas de las señales de tiempo continuo $x(t)$, las señales de tiempo discreto se denotan con un corchete $x[n]$. La figura 3 (b) muestra un ejemplo de señal de tiempo discreto.

A menudo, las señales de tiempo discreto se obtienen a partir de señales de tiempo continuo. Se llama **muestrear** a adquirir los valores de una señal de tiempo continuo en periodos discretos de tiempo. La figura 4 resume gráficamente este proceso.

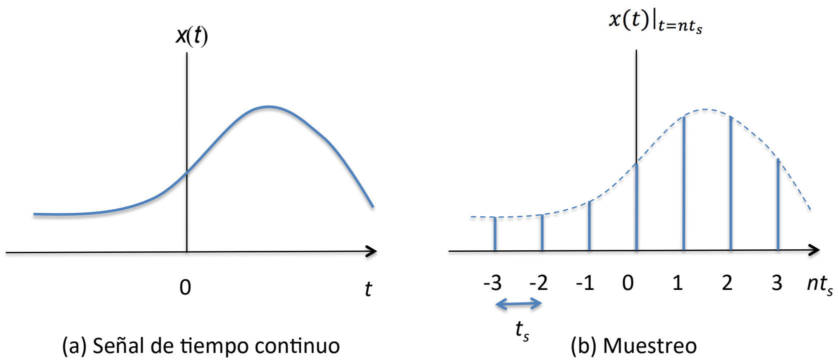


Figura 4: concepto de muestreo

Llamamos **periodo de muestreo** t_s al tiempo entre muestras. La relación entre la señal de tiempo continuo y discreto sería $x(nt_s)=x[n]$ donde n toma valores enteros.

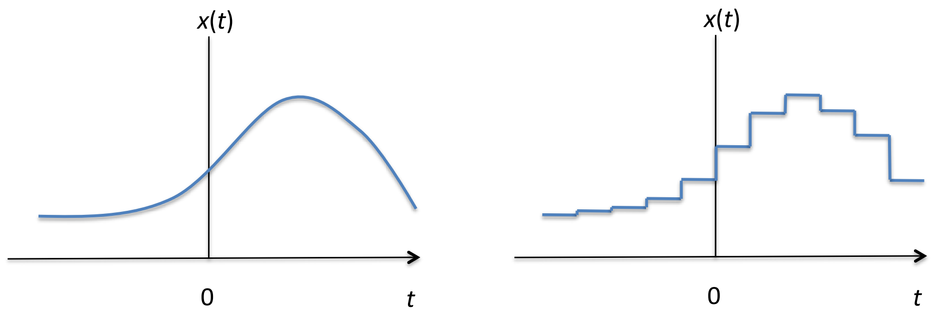
Señales de valor continuo y discreto

Una señal **de valor continuo** es la que la imagen de $x(t)$ puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo. Esto quiere decir que se usan números reales para representar su valor.

Por contraposición, una señal **de valor discreto** es la que solo puede tomar un conjunto discreto de valores. Estos valores pueden ser números reales pero es más habitual que sean valores enteros.

Señales analógicas y digitales

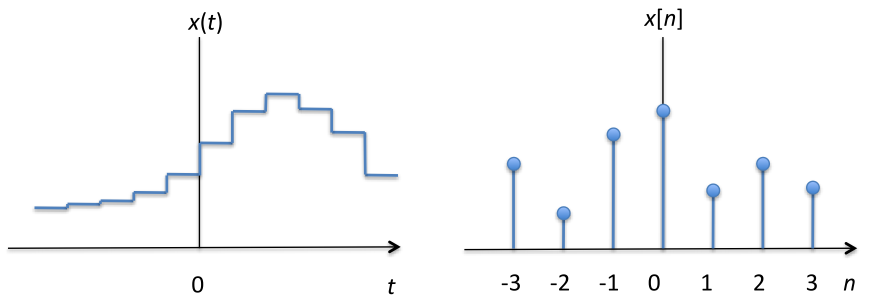
Una señal **analógica** es una señal de tiempo y valor continuo que no presenta discontinuidades. Esto se debe a que la señal analógica debe de ser proporcional (análoga) a un proceso físico. Todas las señales analógicas son de tiempo continuo pero no toda señal de tiempo continuo es analógica. Por ejemplo, la señal de la figura 5 (a) es analógica y de tiempo continuo, pero la señal de la figura 5 (b) es solo de tiempo continuo, ya que las discontinuidades no corresponden a un proceso físico proporcional.



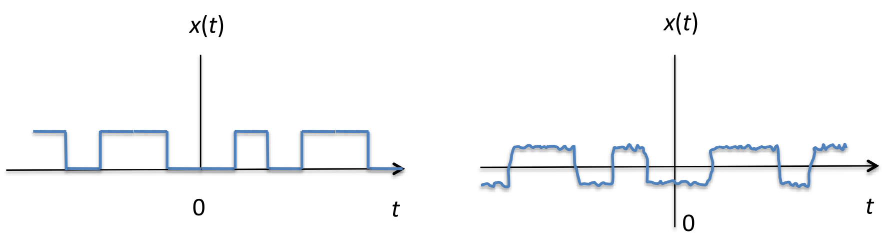
(a) Señal analógica (b) Señal de tiempo continuo

Figura 5: diferencia entre señal analógica y de tiempo continuo

Una señal **digital** es una señal que toma un conjunto discreto de valores. Observar que esta definición no hace necesario que sea de tiempo continuo o discreto. En consecuencia, tanto la señal de la figura 6 (a) como la de la figura 6 (b) son señales digitales. De hecho, las señales discretas de tiempo discreto suelen transmitirse mediante una señal digital de tiempo continuo.



(a) Señal digital de tiempo continuo (b) Señal digital de tiempo discreto



(c) Señal digital binaria (d) Señal digital con ruido

Figura 6: señales digitales

Se llama señal **digital binaria** a una señal digital que solo puede tomar dos valores (ver la figura 6-c). Por conveniencia, los valores de una señal digital binaria suelen representarse como 0,1 pero no es estrictamente necesario que sean estos. Cuando una señal digital se transmite por un medio es posible que se le sume ruido (ver figura 6-d).

En este caso, para reconocer sin ambigüedad los valores discretos de la señal puede hacerse necesario limpiar la señal en el receptor.

Señales aleatorias y deterministas

Una señal **aleatoria** es una señal cuyos valores no se pueden predecir y en consecuencia no se pueden representar con una función matemática (no probabilística). Por el contrario, una señal **determinista** (o no aleatoria) es una señal cuyos valores se pueden describir con una función matemática.

Señales periódicas y no periódicas

Una señal **periódica de tiempo continuo** es una señal que para todo n entero satisface:

$$x(t) = x(t + nT)$$

La figura 7 (a) muestra una señal periódica de tiempo continuo. Llamamos **periodo** de usa señal T al tiempo tras el que se repite una señal periódica (en segundos). Llamamos **periodo fundamental** de una señal T_0 al periodo más pequeño. En general, dado un número k entero:

$$\forall k \geq 1, T = kT_0 \tag{1}$$

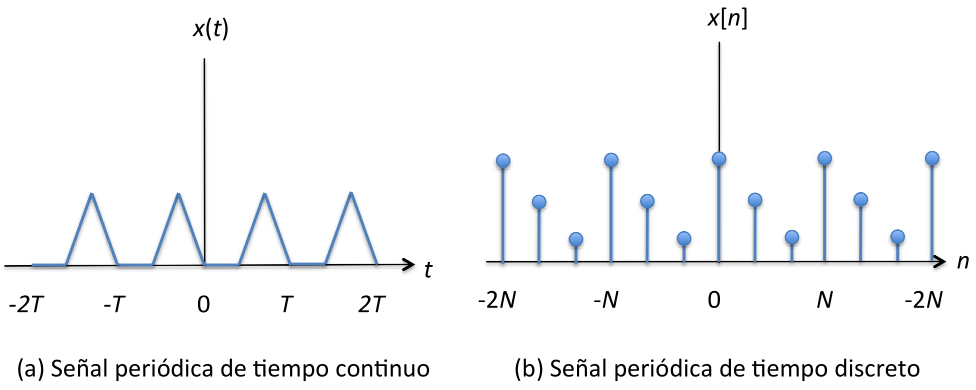


Figura 7: ejemplo de señales periódicas

Una señal que no satisface esta propiedad es una señal **no periódica**. En ocasiones la señal no periódica se interpreta como una señal periódica donde $T_0 \rightarrow \infty$.

Una señal **periódica de tiempo discreto** es una señal que para todo n entero satisface:

$$x[n] = x[n + N]$$

La figura 7 (b) muestra una señal periódica de tiempo discreto. En este caso N es el **periodo discreto** de la señal.

Debemos tener en cuenta que el periodo continuo T es un número real, sin embargo, el periodo discreto N es un número entero mayor o igual a 1.

La sinusoidal

Una señal periódica popular en procesamiento de señales es:

$$x(t) = A \cdot \sin(2\pi f_0 t + \phi) = A \cdot \sin(w_0 t + \phi) \tag{2}$$

En donde A es la **amplitud** de la señal (por defecto A=1). En general, llamamos **frecuencia fundamental** a la frecuencia más baja de una señal. En nuestro ejemplo solo existe una frecuencia con lo que esta es la frecuencia fundamental. En (2) distinguimos entre es la **frecuencia cíclica fundamental** f_0 (en ciclos/seg), **frecuencia angular fundamental** w_0 (en radianes/seg) y ϕ la **fase** (en radianes).

Observar que la señal sinusoidal puede expresarse usando la frecuencia cíclica fundamental f_0 o la frecuencia angular fundamental w_0, las cuales se relacionan como:

$$f_0 = \frac{1}{T} \qquad w_0 = \frac{2\pi}{T}$$

Observar que f_0 y w_0 son las frecuencias más pequeñas con lo que en este caso el denominador es T (y no es T_0), porque T no es el periodo más pequeño.

Al igual que (1) nos relacionaba el periodo de una señal T con su periodo fundamental T_0, podemos relacionar la frecuencia cíclica f y frecuencia angular w de una señal con su versión fundamental como:

$$\forall k \geq 1 \quad f = kf_0 \quad w = kw_0$$

Observar que cuando k=1, tenemos que T=T_0, f=f_0, w=w_0. Luego cuando no hay ambigüedad es muy frecuente relajar esta denominación y encontrar los símbolos T, f y w para referirse a sus correspondientes versiones fundamentales. Nosotros usaremos habitualmente esta convención.

Las ventajas de usar la frecuencia cíclica f son:

- El periodo T es el inverso de la frecuencia cíclica f, con lo que es más sencillo representar esta relación.
- En señales físicas la frecuencia cíclica f es una variable directamente observable y se representa en Hz (ciclos/seg).

Aun así, la frecuencia angular es más habitual de usar porque:

- La frecuencia angular permite expresar las señales sinusoidales de forma más compacta. Es decir, $\sin(wt + \phi)$, en vez de $\sin(2\pi ft + \phi)$.

1.4. Energía y potencia de la señal

En esta sección vamos a estudiar dos propiedades importantes de la señal: su energía y su potencia.

Concepto de energía y potencia

En física, el **trabajo** W es el empleo de una **fuerza** F para hacer un **desplazamiento** D de un objeto, es decir:

$$W = F \cdot D$$

Si aplicamos una fuerza de 10 *newtons* empujando un objeto 5 metros el trabajo realizado es de 50 julios. Si aplicamos 10 *newtons* y el objeto se desplaza «0» metros, el trabajo realizado es «0» julios.

La **energía** E es la capacidad para producir trabajo y también se mide en julios. Para realizar un trabajo de 50 julios necesitamos consumir 50 julios de energía. Si en el punto A tenemos la energía E_A y en el punto B tenemos la energía E_B, el trabajo para llevar un objeto de A a B es:

$$W = E_A - E_B = -\Delta E$$

La **potencia** P es la velocidad en la realización del trabajo (o la velocidad en que se consume la energía). Un trabajo realizado lentamente utiliza menos potencia pues el tiempo es más largo. Una máquina que es más potente realiza el mismo trabajo en menos tiempo.

Luego, si t es el tiempo consumido en la realización del trabajo:

$$P = \frac{-\Delta E}{t} = \frac{W}{t}$$

Si para realizar un trabajo de 50 julios hemos consumido 2 segundos, la potencia de la máquina es de 25 vatios.

Energía de la señal

En teoría de la señal, habitualmente la señal se representa como una abstracción matemática y por simplicidad se ignora su representación y significado físico. Ejemplos típicos de señales físicas serían el voltaje o intensidad en un cable eléctrico o la presión acústica.

Dado que esta abstracción matemática puede operar sobre diferentes señales físicas se ha definido el término **energía de la señal** como el área bajo el cuadrado de la magnitud de la señal:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 \, dt \qquad (3)$$

Debemos tener en cuenta que el concepto de **energía de la señal** no corresponde al concepto de **energía física** pero sí es proporcional a él. Si la señal se mide en voltios (v) la energía de la señal se representa como voltios al cuadrado (v^2). Si la señal se mide en amperios (A) la energía de la señal se representaría como amperios al cuadrado (A^2).

» **Ejemplo 1**:

Calcular la energía de la señal:

$$x(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < 1 \\ -1 & 1 < t < 2 \\ 0, & resto \end{cases}$$

De la definición de energía:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 \, dt = \int_{0}^{2} 1^2 \, dt = 2$$

De forma similar en una señal discreta $x[n]$ la energía de la señal se define como:

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x[n]|^2$$

Potencia de la señal

Muchas señales no están limitadas en el tiempo. Un ejemplo de este tipo de señales es la sinuosidad ((2)). En este caso la ecuación (3) para calcular la energía de la señal nos devuelve energía infinita. En este tipo de señales, en vez de medir la energía de la señal, es más conveniente medir la **potencia de la señal**, es decir, su energía media calculada como:

$$P = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 \, dt$$

Esta integral calcula la energía de la señal en un periodo T. En la integral el periodo de integración $T \to \infty$ pero al dividir entre T obtenemos su potencia media.

En el caso de las señales periódicas el cálculo de la potencia media se puede reducir a calcular la potencia media en un periodo T finito, es decir:

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{T+t_0} |x(t)|^2 \, dt = \frac{1}{T} \int_{T} |x(t)|^2 \, dt$$

» **Ejemplo 2**:

Encontrar la potencia de la señal sinusoidal con w_0=1:

$$x(t) = \cos(t)$$

Dado que esta es una señal periódica con periodo fundamental $T_0=2\pi$ y dada la definición de potencia de la señal tenemos:

$$P = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{T+t_0} |x(t)|^2\, dt = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} |\cos(t)|^2\, dt$$

Observando que $|\cos(t)|^2 = \cos^2(t)$ y aplicando la relación trigonométrica:

$$\cos^2(t) = \frac{1+\cos(2t)}{2}$$

Tenemos:

$$P = \frac{1}{4\pi}\left[\int_{-\pi}^{\pi} 1\, dt + \int_{-\pi}^{\pi} \cos(2t)\ dt\right] = \frac{1}{4\pi}\left[t + \frac{1}{2}\sin(2t)\right]_{-\pi}^{\pi}$$

$$= \frac{1}{4\pi}[\pi + 0 - (-\pi + 0)] = \frac{2\pi}{4\pi} = \frac{1}{2}$$

Análogamente, dada una señal de tiempo discreto $x[n]$, la potencia de la señal se define como:

$$P = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{2N+1}\sum_{n=-N}^{N} |x[n]|^2$$

Señales energía y señales potencia

Llamamos **señal energía** a una señal que tiene energía finita $0<E<\infty$ y en consecuencia $P=0$.

Llamamos **señal potencia** a una señal que tiene potencia finita $0<P<\infty$ y en consecuencia $E=\infty$.

Observar que:

- Son mutuamente excluyentes. Si una señal es una señal potencia, entonces no puede ser señal energía y viceversa.
- Las señales periódicas son señales potencia, excepto el caso trivial $x(t)=0$.

» Las señales potencia no son físicamente realizables, ya que se necesitaría una energía infinita para generarla.

1.5. Propiedades de simetría de la señal

En esta sección vamos a estudiar las propiedades de simetría par e impar de una señal.

Definición de simetría par e impar

Decimos que una función $x(t)$ tiene **simetría par** si cumple:

$$x(t) = x(-t) \tag{4}$$

Las funciones $x(t) = t^2$ y $x(t) = \cos(t)$ son ejemplos de funciones con simetría par.

La figura 8 (a) muestra que estas funciones son simétricas respecto al eje vertical.

Análogamente, decimos que una función $x(t)$ tiene **simetría impar** si cumple:

$$x(t) = -x(-t) \tag{5}$$

Las funciones $x(t) = t^3$ y $x(t) = \sin(t)$ son ejemplos de funciones con simetría impar. La figura 8 (b) muestra que estas funciones son antisimétricas respecto al eje vertical.

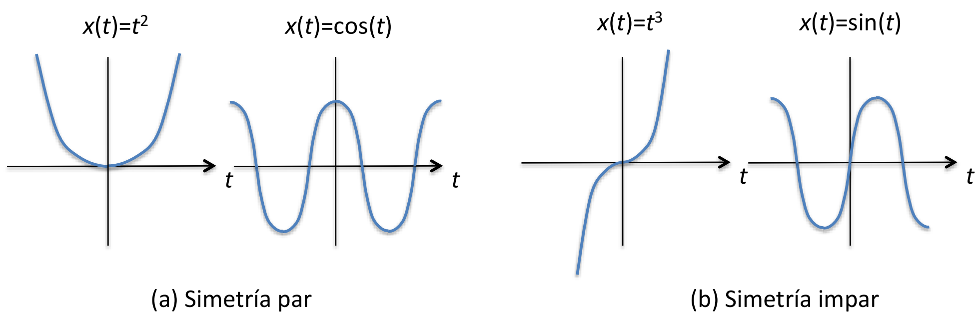


Figura 8: Funciones con simetría par e impar

Propiedad de descomposición

Algunas señales son pares, otras señales son impares y otras señales no son pares ni impares. Sin embargo, se conoce este importante teorema:

Teorema 1: toda función $x(t)$ se puede escribir como la suma de una función par y una impar:

$$x(t) = x_e(t) + x_o(t) \tag{6}$$

Donde $x_e(t)$ es la **parte par** (*even*) de $x(t)$, y $x_o(t)$ es su **parte impar** (*odd*).

En concreto, estas funciones se pueden obtener como:

$$x_e(t) = \frac{x(t) + x(-t)}{2} \qquad x_o(t) = \frac{x(t) - x(-t)}{2} \tag{7}$$

Si $x_o(t)$=0, la función $x(t)$ es par y si $x_e(t)$=0, la función $x(t)$ es impar.

Demostración

Remplazando t por $-t$ en (6) tenemos:

$$x(-t) = x_e(-t) + x_o(-t)$$

Aplicando la definición de señal par (4) a $x_e(-t)$ y de señal impar (5) a $x_o(-t)$ tenemos:

$$x(-t) = x_e(t) - x_o(t) \tag{8}$$

Sumando (6) y (8) y dividiendo entre dos tenemos:

$$x_e(t) = \frac{x(t) + x(-t)}{2}$$

Restando (8) a (6) y dividendo entre dos tenemos:

$$x_o(t) = \frac{x(t) - x(-t)}{2}$$

» **Ejemplo 3**:

Dada la función:

$$x(t) = \sin(t) + \cos^2(t)$$

Representada en la figura 9. Obtener su parte par y parte impar.

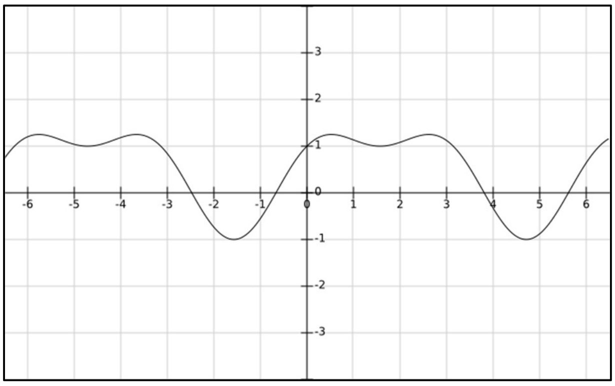


Figura 9: Función sin(t) + cos²(t)

Aplicando (7) calculamos la parte par:

$$x_e(t) = \frac{x(t) + x(-t)}{2} = \frac{\sin(t) + \cos^2(t) + \sin(-t) + \cos^2(-t)}{2}$$

Dado que sin(t)=-sin(-t) tenemos:

$$x_e(t) = \frac{\cos^2(t) + \cos^2(-t)}{2}$$

Y dado que cos²(t)=cos²(-t) tenemos:

$$x_e(t) = \frac{2 \cdot \cos^2(t)}{2} = \cos^2(t)$$

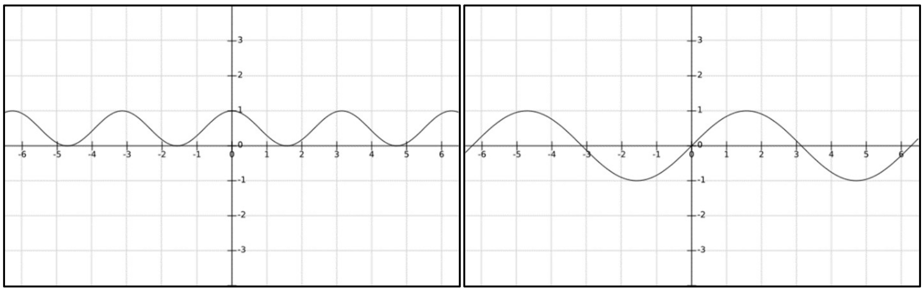
Ahora usamos (7) para calcular la parte impar:

$$x_o(t) = \frac{x(t) - x(-t)}{2} = \frac{\sin(t) + \cos^2(t) - \sin(-t) - \cos^2(-t)}{2}$$

Aplicando las mismas sustituciones que antes:

$$x_o(t) = \frac{2 \cdot \sin(t)}{2} = \sin(t)$$

La figura 10 muestra la descomposición en parte par e impar de figura 9.



(a) Parte par (b) Parte impar

Figura 10: Descomposición en parte par e impar

Propiedades de la suma

La suma (o resta) de funciones pares e impares tiene estas propiedades:

» **La suma (o resta) de funciones pares da una función par:**

Para demostrarlo, sea $x_1(t)$, $x_2(t)$ funciones pares, definimos $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$. Ahora podemos observar que si $x_1(t)$ y $x_2(t)$ son funciones pares, entonces por definición de paridad (4) $x_1(t) = x_1(-t)$ y $x_2(t) = x_2(-t)$. Luego $x(-t) = x_1(-t) + x_2(-t) = x_1(t) + x_2(t) = x(t)$, lo cual prueba que $x(t)$ también es par.

» **La suma (o resta) de funciones impares da una función impar:**

Para demostrarlo sea $x_1(t)$, $x_2(t)$ funciones impares, definimos $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$. Ahora podemos observar que si $x_1(t)$ y $x_2(t)$ son funciones impares, entonces por definición de imparidad (5) $x_1(t) = -x_1(-t)$ y $x_2(t) = -x_2(-t)$. Luego $x(t) = -x_1(-t) - x_2(-t) = -x(-t)$, lo cual prueba que $x(t)$ también es impar.

» **La suma (o resta) de una función par y una función impar no es ni par ni impar, excepto en el caso trivial de que una de ellas sea cero:**

Para demostrarlo definimos $x(t) = x_e(t) + x_o(t)$ y asumimos que $x(t)$ es par, entonces $x_o(t) = x(t) - x_e(t)$ es la suma de dos funciones pares, lo cual contradice la propiedad 1 y hemos demostrado por reducción al absurdo que la suma de una función par e impar no puede ser par. Análogamente demostraríamos que la suma de una función par e impar no puede ser impar.

Propiedades de producto

Finalmente vamos a enumerar las propiedades de producto de funciones pares e impares.

» **El producto de dos funciones pares es una función par:**

Para demostrarlo, sea $x_1(t)$, $x_2(t)$ funciones pares, definimos $x(t) = x_1(t) \cdot x_2(t)$. Ahora podemos observar que si $x_1(t)$ y $x_2(t)$ son funciones pares, entonces por definición de paridad (4) $x_1(t) = x_1(-t)$ y $x_2(t) = x_2(-t)$. Luego $x(-t) = x_1(-t)\ \ x_2(-t) = x_1(t) \cdot x_2(t) = x(t)$, lo cual prueba que $x(t)$ también es par.

» **El producto de funciones impares da una función par:**

Para demostrarlo, sea $x_1(t)$, $x_2(t)$ funciones impares, definimos $x(t) = x_1(t) \cdot x_2(t)$. Ahora podemos observar que si $x_1(t)$ y $x_2(t)$ son funciones impares, entonces por definición de imparidad (5) $x_1(t) = -x_1(-t)$ y $x_2(t) = -x_2(-t)$. Luego $x(t) = (-x_1(-t)) \cdot (-x_2(-t)) = x(-t)$, lo cual prueba que $x(t)$ es par.

» **El producto de una función par y una impar es impar:**

Para demostrarlo definimos $x(t) = x_e(t) + x_o(t)$ y cambiando t por $-t$ definimos $x(-t) = x_e(-t) + x_o(-t)$. Ahora por definición de paridad (4) e imparidad (5) $x_e(t) = x_e(-t)$ y $x_o(t) = -x_o(-t)$. Luego $x(t) = (x_e(-t)) \cdot (-x_o(-t)) = - x_e(-t) \cdot x_o(-t) = -x(-t)$, lo cual prueba que $x(t)$ es impar.

Lo + recomendado

Lecciones magistrales

Repaso de números complejos

Esta lección magistral repasa los conceptos básicos de números complejos que vamos a utilizar.

La lección magistral está disponible en el aula virtual

No dejes de leer…

Procesamiento de señal

Este es un artículo divulgativo introductorio a la importancia del procesamiento de señal.

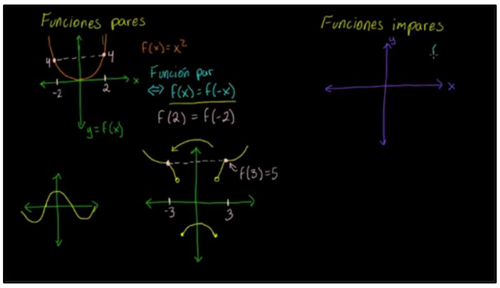
INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
Edición española de Scientific American
40 ANIVERSARIO 1976 · 2016

Accede al artículo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
http://www.investigacionyciencia.es/blogs/tecnologia/20/posts/procesamiento-de-seal-10223

No dejes de ver…

Reconocimiento de funciones pares e impares

Este tutorial resume las diferencias entre las funciones pares e impares.



Accede al vídeo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
https://www.youtube.com/watch?v=s9eG6XBOynw

Conceptos básicos del procesamiento de señales

Aquí tenemos una presentación Prezi que introduce ideas de procesamiento de señales.

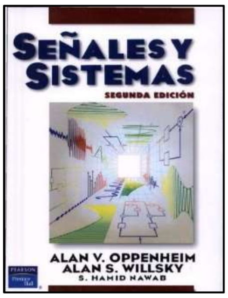
Accede a la presentación desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
https://prezi.com/tlzpwsiukiqt/conceptos-generales-procesamiento-de-senales/

+ Información

A fondo

Señales y sistemas

Oppenheim, A. V., Willsky, A. S. y Hamid, S. (1998). *Señales y sistemas*. México: Pearson.



En el apartado 1.1.2 se describe la diferencia entre señales energía y señales potencia y en el apartado 1.2.3 se describen las funciones pares e impares.

Accede al libro desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
https://books.google.es/books?id=g2750K3PxRYC&pg=PA13

Recursos externos

Fooplot

Esta es una excelente herramienta web para dibujar las funciones que vamos a analizar.

FOOPLOT
graficar · faq · comentar

Accede a la página desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
http://fooplot.com/

Bibliografía

Oppenheim, A. V., Willsky, A. S. y Hamid, S. (1998). *Señales y sistemas*. México: Pearson.

Test

1. ¿Cuál es la relación entre señal, información y ruido?

A. i(t)=$s(t)+n(t)$.

B. $s(t)=i(t)+n(t)$.

C. $i(t)=s(t) \cdot n(t)$.

D. $s(t)=i(t)-n(t)$.

2. Una señal aperiódica es una señal:

A. Aleatoria.

B. Discreta.

C. De periodo infinito.

D. No determinista.

3. Dado un periodo T, las señales de tiempo continuo y discreto se relacionan como:

A. $x(t)=Tx[n]$.

B. $x(t)=1/T{\cdot}x[n]$.

C. $x(kT)=x[k]$.

D. $x(k)=Tx[k]$.

4. Una señal digital tiene que ser:

A. Binaria.

B. De tiempo continuo.

C. De tiempo discreto.

D. De valor discreto.

5. Una señal determinista:

A. Puede ser aleatoria.

B. Debe ser de tiempo continuo.

C. Debe ser de tiempo discreto.

D. Debe poderse describir con una función matemática.

6. ¿Cuántos periodos fundamentales tiene la señal *sin(t):*

A. 0

B. 1

C. 2

D. Infinitos.

7. Si una señal tiene frecuencia cíclica 1, ¿cuál es su frecuencia angular?:

A. 0

B. 1

C. π

D. 2 π

8. ¿Cuál es el periodo fundamental de *sin(2t):*

A. 0

B. 2

C. π

D. 2 π

9. ¿Cuál es la energía de la señal *cos(t)*?

A. 0

B. 1

C. 2 π

D. Infinito

10. La suma y producto de dos funciones pares es, respectivamente:

A. Impar, impar.

B. Impar, par.

C. Par, impar.

D. Par, par.