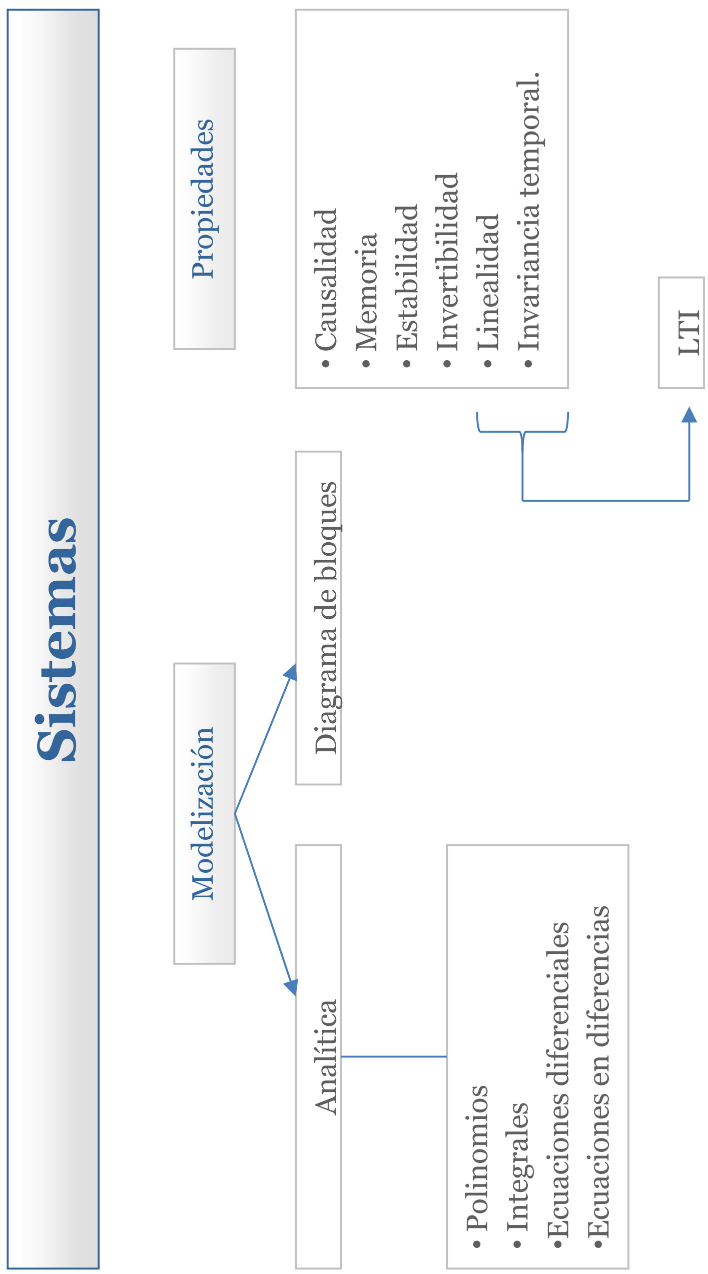
Sistemas

TEMA 5

Esquema


Sistemas
Propiedades
• Causalidad
• Memoria
• Estabilidad
• Invertibilidad
• Linealidad
• Invariancia temporal.
LTI
Modelización
Diagrama de bloques
Analítica
• Polinomios
• Integrales
•Ecuaciones diferenciales
•Ecuaciones en diferencias

Ideas clave

5.1. ¿Cómo estudiar este tema?

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

En los temas anteriores hemos estudiado cómo representar y transformar señales. En este tema vamos a estudiar cómo modelizar sistemas y cuáles son sus características más importantes.

5.2. Definición

Un sistema es un proceso que transforma la señal. La figura 1 (a) es un sistema que requiere de al menos dos funciones: una que representa la entrada y otra que representa la salida. Por ejemplo, en una veleta la velocidad del aire puede ser la entrada y la velocidad de rotación de la veleta la salida. Un sistema también puede limitarse a reproducir la entrada lo más fidedignamente posible (p.e. un reproductor de audio), o bien no tener respuesta cero, independientemente de la entrada (p.e. un aislante acústico).

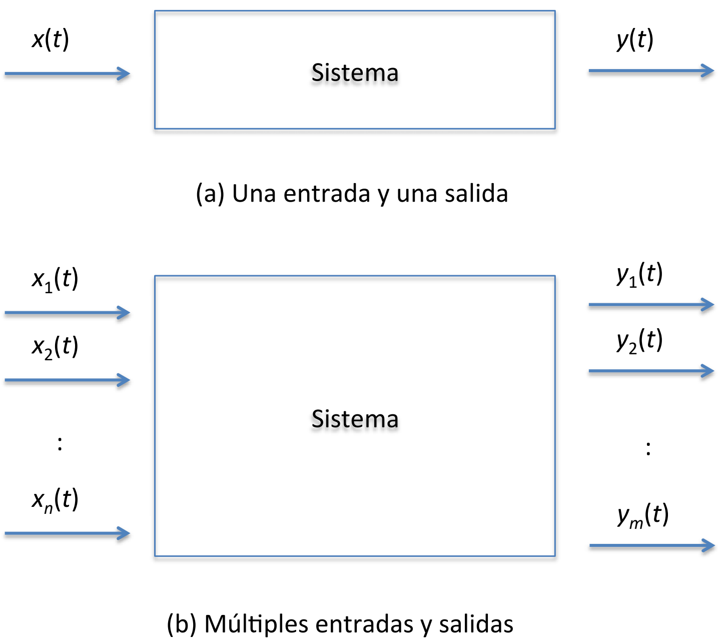


Figura 1: modelización de un sistema

Tal como muestra figura 1 (b), en la práctica los sistemas pueden recibir varias entradas (o excitaciones) y producir varias salidas (o respuestas). Por ejemplo, un automóvil puede tener como entradas el volante, el acelerador y el freno, y como salidas la dirección, la velocidad y la posición. Habitualmente, nosotros vamos a limitarnos a modelar sistemas con una sola entrada y una sola salida.

Un sistema puede ser de tiempo continuo, es decir:

$$x(t) \rightarrow y(t)$$

O de tiempo discreto:

$$x[n] \rightarrow y[n]$$

Al igual que con las señales, normalmente estudiaremos los sistemas de tiempo continuo y de tiempo discreto separados pero en paralelo, para que el aprendizaje ganado en uno sirva para comprender mejor el otro.

5.3. Modelización

Un sistema es un proceso físico cuyas entradas y salidas modelizamos matemáticamente para poder simular su comportamiento. Esto quiere decir que las cajas de la figura 1 actúan como cajas negras.

El modelo debe de incluir todas las excitaciones y efectos significativos intentando que sea lo más sencillo posible. Por ejemplo, el ejemplo del automóvil tiene otras salidas, como son la vibración del coche o el ruido del motor pero si estas salidas no se consideran significativas no formarán parte del modelo.

Habitualmente los sistemas se modelan mediante polinomios, integrales, ecuaciones diferenciales (caso continuo) o ecuaciones en diferencias (caso discreto). A continuación vamos a ver ejemplos de estos modelos.

» **Ejemplo 1**: modelización con polinomios.

Una **resistencia** es un dispositivo que dificulta el paso de corriente eléctrica. La figura 2 (a) muestra este dispositivo. Su resistencia R relaciona la intensidad $i(t)$ en un instante de tiempo t con el voltaje $v(t)$ en ese mismo instante de tiempo. Es decir, si $x(t)$ es la intensidad de corriente e $y(t)$ es el voltaje, tenemos que:

$$y(t) = R \cdot x(t) \qquad (1)$$

Un **dispositivo de ley cuadrática** es un dispositivo eléctrico donde la intensidad o voltaje de la salida es el cuadrado de la entrada. Para implementarlo se suele usar un amplificador, tal como muestra la figura 2 (b). En este caso la relación entre entrada y salida viene dada por la ecuación polinómica:

$$y(t) = x^2(t)$$

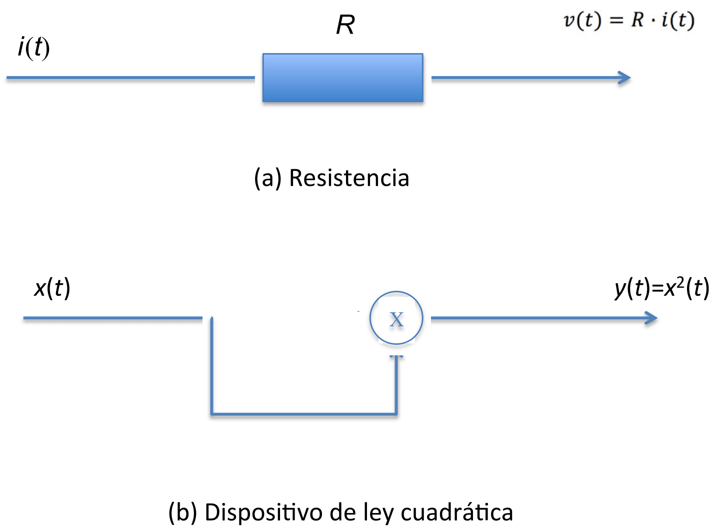


Figura 2: dispositivos polinómicos

Es importante observar que el sistema no se modela como una transformación sobre t, es decir, la salida no se modela. Por ejemplo: de la forma $y(t)=t^2$. En el sistema la salida $y(t)$ depende de la entrada $x(t)$. Esta dependencia se puede representar como $y(x(t))$ o $y(t)=\mathbf{T}\{x(t)\}$, donde **T** es la transformación que hacemos a la señal de entrada para obtener la señal de salida.
Sin embargo la variable independiente sigue siendo el tiempo t. En los ejemplos anteriores obtenemos $y(t)=Rx(t)$ y $y(t)=x^2(t)$, respectivamente.

» **Ejemplo 2**: modelización con integrales.

Un **capacitador** es un dispositivo que almacena corriente eléctrica $i(t)$ en forma de potencial eléctrico $v(t)$. El potencial almacenado depende del tiempo que ha estado sometido a la corriente eléctrica y de su capacitancia C. Es decir, si $x(t)$ es la intensidad de corriente e $y(t)$ es el voltaje, tenemos que:

$$y(t) = \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} x(\tau)d\tau$$

Luego la resistencia es un sistema con un modelo polinómico, mientras que el capacitador es un sistema con modelo integral.

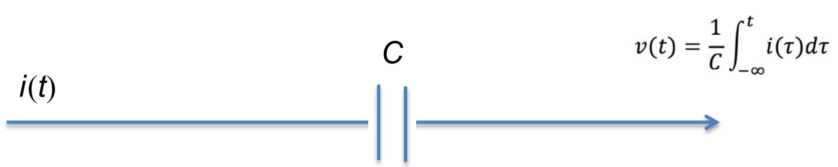


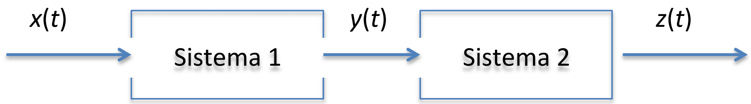
Figura 3: capacitador

5.4. Diagramas de bloques

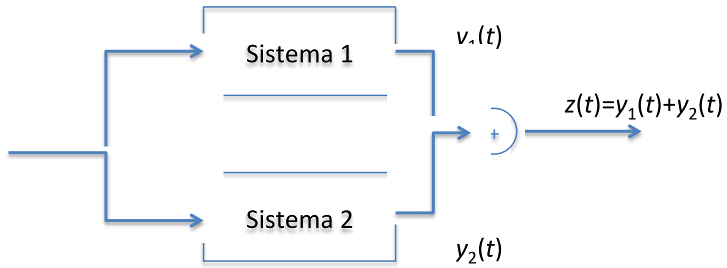
Un sistema complejo puede descomponerse en **componentes**, los cuales corresponden a sistemas más pequeños y simples. Para modelar y analizar sistemas es muy útil representarlos mediante un **diagrama de bloques** donde se muestran las entradas y salidas entre componentes, así como las transformaciones adicionales que sufre la señal.

La figura 4 muestra cómo podemos interconectar sistemas en serie y en paralelo. La **interconexión en serie** implica que la salida del sistema 1, $y(t)$, es la entrada del sistema 2, y el resultado conjunto $z(t)$, es el que resulta de aplicar a $x(t)$ el sistema 1 y luego el sistema 2.

En la **interconexión en paralelo** la misma señal de entrada $x(t)$ se aplica a dos sistemas obteniendo salidas distintas $y_1(t)$ e $y_2(t)$, respectivamente. Habitualmente las salidas se suman con el símbolo «⊕», aunque en ocasiones se pueden multiplicar, en cuyo caso usamos «⊗».



(a) Interconexión en serie



(b) Interconexión en paralelo

Figura 4: interconexión en serie y en paralelo

» **Ejemplo 3**: ecuación analítica de un sistema.

Habitualmente, a partir del diagrama de bloques podemos obtener la ecuación analítica que lo representa. Por ejemplo, vamos a obtener la ecuación analítica combinada del sistema de la figura 5:

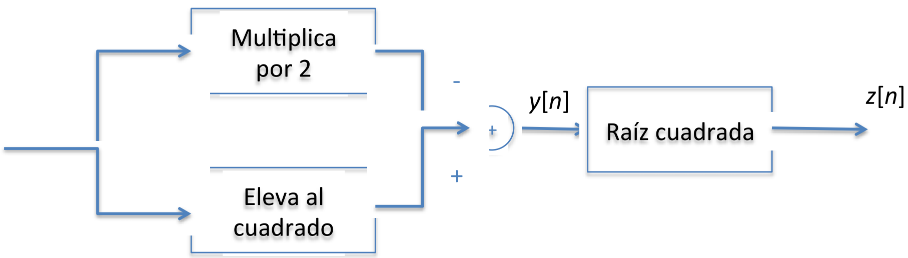


Figura 5: sistema sin retroalimentación

En este diagrama, el «+» y «-» a la entrada de ⊕ indican que la señal se suma o se resta, respectivamente. Esto quiere decir que en $y[n]$ tendremos la señal:

$$y[n] = x^2[n] - 2x[n]$$

Con lo que la expresión analítica de $z[n]$ será:

$$z[n] = \sqrt{x^2[n] - 2x[n]}$$

Bloques estándar

En los diagramas de bloques existen una serie de bloques que realizan operaciones muy habituales, a los cuales se les conoce como bloques estándar. La figura 6 resume estos bloques.

Podemos sumar o multiplicar señales como muestra la figura 6 (a) y (b) o podemos escalar una señal multiplicándolo por una constante *K*, como muestra la figura 6 (c).

Las anteriores son operaciones que se pueden usar tanto en sistemas de tiempo continuo como en sistemas de tiempo discreto. La figura 6 (d) muestra la integración, la cual es propia de los sistemas de tiempo continuo, y la figura 6 (e) la acumulación, la cual es propia de los sistemas de tiempo discreto. La figura 6 (f) muestra el retraso, el cual aparece solo en sistemas de tiempo discreto.

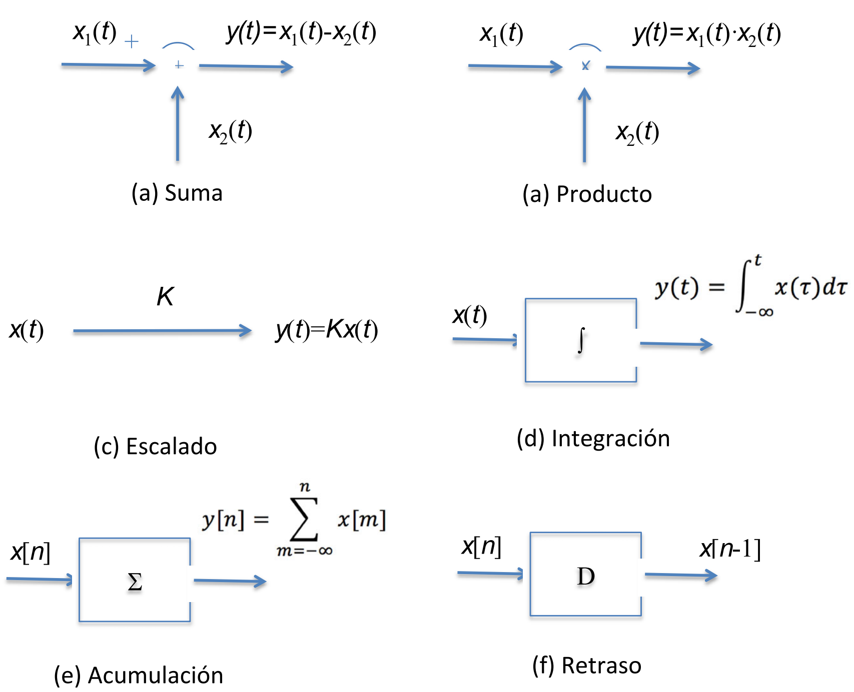


Figura 6: bloques estándar

Sistemas sin y con retroalimentación

Se dice que un sistema es **sin retroalimentación** (***feedback***) cuando su salida solo depende de la entrada, es decir, la salida no depende del estado del sistema. La figura 5 muestra un ejemplo de sistema sin retroalimentación.

Se dice que un sistema es **con retroalimentación** cuando la salida, además de la entrada, depende del estado del sistema. Un sistema de aire acondicionado que determina si encenderse o apagarse en la salida y[n] en función de la temperatura actual $x[n]$, y de la temperatura anterior $x[n\text{-}1]$ es un ejemplo de sistema con retroalimentación.

La figura 7 (a) muestra un ejemplo de sistema con retroalimentación en tiempo continuo, y la figura 7 (b) un ejemplo de sistema con retroalimentación en tiempo discreto. En los sistemas de tiempo discreto el bucle debe de incluir un retraso. En los sistemas de tiempo continuo se asume que la propagación es inmediata.

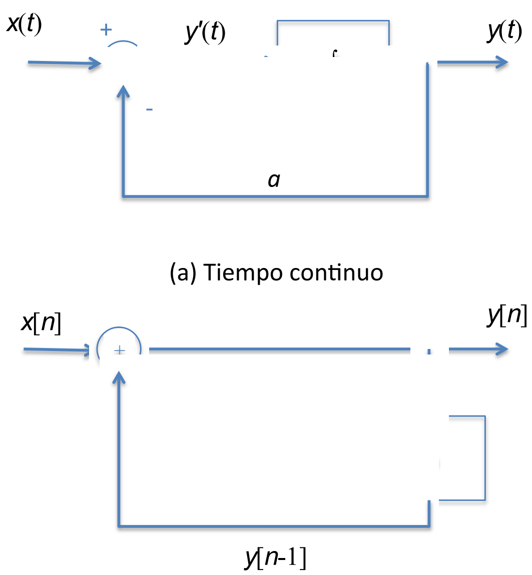


Figura 7: sistemas con retroalimentación

» **Ejemplo 4**: modelización con ecuaciones diferenciales.

Obtener la ecuación que modeliza el sistema con retroalimentación de la figura 7 (a). A partir del diagrama de bloques podemos escribir la ecuación diferencial que lo modeliza.

Para ello observamos que la salida del sumador ⊕ es $y'(t)$ y que debe ser igual a la suma de sus entradas:

$$y'(t) = x(t) - ay(y)$$

» **Ejemplo 5**: modelización con ecuaciones en diferencias.

Obtener la ecuación que modeliza el sistema con retroalimentación de la figura 7 (b). A partir del diagrama podemos escribir la ecuación en diferencias que lo modeliza. Para ello observamos que la salida del sumador ⊕ es $y[n]$ y que debe ser igual a la suma de sus entradas:

$$y[n] = x[n] + y[n-1]$$

5.5. Propiedades

En esta sección describiremos las propiedades básicas de los sistemas y sus interpretaciones físicas y matemáticas. No existen diferencias significativas en estas propiedades entre sistemas de tiempo continuo y de tiempo discreto, con lo que basta con ejemplificarlas en uno de los casos.

Causalidad

Un sistema es **causal** si su salida en cualquier instante de tiempo depende solo de los valores de la entrada en el presente o en el pasado. Es decir, en un sistema causal el efecto tiene una causa y el efecto ocurre solo durante o después de la causa. Ejemplos de sistemas causales son:

$$y(t) = x(t-1)$$

$$y[n] = \sum_{m=-\infty}^{n} x[m]$$

En el primer ejemplo, la salida $y(t)$ depende del valor de la entrada en el instante t-1. En el segundo ejemplo, la salida $y[n]$ depende de todos los valores anteriores de la entrada hasta n.

A los sistemas **no causales** también se les llama sistema **anticipatorios** porque son capaces de anticipar valores futuros de la entrada. Ejemplos de sistemas no causales son:

$$y(t) = x(t+2)$$

$$y[n] = x[n/2]$$

$$y[n] = x[1-n]$$

El primer ejemplo es no causal para todo valor de t, el segundo ejemplo es no causal cuando n<0, y el tercer ejemplo es no causal cuando n≤0.

Los sistemas físicos son causales cuando la variable independiente es el tiempo porque los sistemas físicos no pueden predecir el futuro, es decir, no pueden responder con una excitación antes de que la causa se produzca.

Ejemplos de sistemas no causales serían:

» **Sistemas donde la variable independiente no es el tiempo**. Por ejemplo, en procesamiento de imágenes la variable independiente es el espacio.
» **Simuladores**. Sistemas que reproducen procesos físicos que han sido grabados y en consecuencia estos datos no están limitados a procesarse de forma causal.

Memoria

Decimos que un sistema **tiene memoria** cuando la salida del sistema depende de valores pasado o futuros de la entrada. Por ejemplo, los siguientes sistemas tienen memoria:

$$y(t) = x(t-1)$$

$$y[n] = x[n] + x[n+2]$$

El primer ejemplo depende de valores anteriores de la variable independiente y el segundo ejemplo de valores actuales y fututos.

Un sistema **sin memoria** (o **instantáneo**) es un sistema en el que la salida solo depende de la entrada actual. Por ejemplo, la resistencia eléctrica (1) es un sistema sin memoria.

La memoria de un sistema se relaciona con su causalidad. Un sistema sin memoria es siempre causal pero si tiene memoria no sabemos si es causal. Un sistema no causal tiene memoria en el futuro pero si es causal no sabemos si tiene o no memoria.

Estabilidad

Un sistema es **estable** cuando si la entrada $x(t)$ está limitada, la salida $y(t)$ está limitada.

Ejemplos de sistemas inestables son las reacciones en cadena y los crecimientos exponenciales.

Formalmente, si A, B son límites superiores finitos, decimos que:

$$\text{Si } |x(t)| < A \text{ entonces } \exists B \;/\; |y(t)| < B$$

» **Ejemplo 6**: determinación de estabilidad.

Determinar si son estables los siguientes sistemas:

$$y[n] = \frac{1}{2M+1} \sum_{m=-M}^{M} x[n-m] \qquad (2)$$

$$y[n] = \sum_{m=-\infty}^{n} x[m] \qquad (3)$$

En (2) empezamos asumiendo que para todos los valores de n, la entrada $x[n]$ está limitada en magnitud por algún límite superior A, entonces, como $y[n]$ es la media de un conjunto finito de $2M$+1 valores entorno a x$[n]$, $y[n]$ también está limitada por A, luego el sistema (2) es estable.

Ahora analizamos (3) que suma los infinitos valores hasta $x[n]$. En este caso, al ser una suma infinita, aunque para todos los valores de n la entrada $x[n]$ está limitada, su suma puede ser un valor infinito. Por ejemplo, si $x[n]$=$u[n]$, $y[0]$=1, $y[1]$=2, $y[2]$=3, ... donde vemos que $y[n]$ crece sin límite.

Invertibilidad

Un sistema es **invertible** si diferentes entradas dan lugar a diferentes salidas, es decir, si observando la salida podemos determinar la entrada. Como muestra la figura 8, si un sistema es invertible entonces existe un sistema inverso capaz de reproducir a su salida $z(t)$ la entrada del primer sistema $x(t)$.

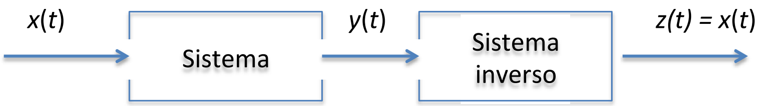


Figura 8: concepto de invertibilidad

Por ejemplo, el sistema:

$$y(t) = 2x(t)$$

Es invertible y su sistema inverso es:

$$z(t) = \frac{1}{2}y(t)$$

Linealidad

Un **sistema lineal** es un sistema que cumple las propiedades de escalado y aditividad.

Un sistema es **escalable** (u **homogéneo**) cuando al multiplicar la entrada $x(t)$ por una constante a, la salida $y(t)$ se multiplica por esa constante. Es decir:

$$Si\ x'(t) = ax(t) \text{ entonces } y'(t) = ay(t)$$

Un sistema es **aditivo** cuando la respuesta a la suma de las entradas es igual a la suma de las respuestas a cada entrada por separado. Es decir, si $y_1(t)$ es la respuesta a $x_1(t)$, $y_2(t)$ es la respuesta a $x_2(t)$, entonces:

$$\text{Si } x(t) = x_1(t) + x_2(t) \text{ entonces } y(t) = y_1(t) + y_2(t)$$

Cuando ambas propiedades se cumplen tenemos la propiedad de linealidad. Es decir, un sistema es **lineal** cuando:

$$\text{Si } x(t) = ax_1(t) + bx_2(t) \text{ entonces } y(t) = ay_1(t) + by_2(t)$$

Estas propiedades aplican tanto en sistemas de tiempo continuo como de tiempo discreto. En general, las constantes a, b son constantes complejas.

Propiedades de los sistemas lineales

Los sistemas lineales tienen dos propiedades importantes: superposición y respuesta cero. Vamos a ver en qué consisten estas propiedades.

La **propiedad de superposición** es la que permite descomponer una señal en sumas escaladas de otras señales más sencillas y analizar sus comportamientos por separado.

Es decir, si:

$$x[n] = \sum_k a_k x_k[n] = a_1 x_1[n] + a_2 x_2[n] + \cdots$$

Su respuesta será:

$$y[n] = \sum_k a_k y_k[n] = a_1 y_1[n] + a_2 y_2[n] + \cdots$$

En otras disciplinas a la propiedad de superposición se la conoce como la estrategia divide y vencerás. El análisis de sistemas no lineales es complicado porque no se puede usar la estrategia divide y vencerás. En consecuencia los sistemas no lineales solo suelen analizarse de forma numérica, en contraposición con las estrategias analíticas que se usan en los sistemas lineales.

La **propiedad de respuesta cero** indica que siempre que la excitación sea cero, la respuesta debe de ser cero. Es decir:

$$\text{Si } x(t) = 0 \text{ entonces } y(t) = 0$$

Por ejemplo, el sistema:

$$y(t) = 2x(t) + 3 \tag{4}$$

No es lineal porque cuando la entrada es $x(t)$=0, la salida es $y(t)$=3. De hecho, este sistema no cumple con la propiedad de escalado, es decir, al multiplicar la entrada $x(t)$ por una constante a obtenemos:

$$x'(t) = ax(t) \rightarrow y'(t) = 2ax(t) + 3$$

Y al multiplicar por a la salida $y(t)$ obtenemos un valor distinto:

$$y'(t) = ay(t) \rightarrow y'(t) = a(2x(t) + 3) = 2ax(t) + 3a$$

Los sistemas lineales pueden representarse con ecuaciones lineales (que pueden ser algebraicas, diferenciales o integrales). Sin embargo, como podemos concluir de (4), no todos los sistemas representados por ecuaciones lineales son sistemas lineales.

Sistemas afines

A los sistemas como (4) se les considera sistemas afines. La figura 9 modeliza un **sistema afín** como la suma de un sistema lineal y un valor constante. En la parte lineal el sistema responde a los cambios en la entrada de forma lineal y la parte constante es independiente de la entrada.

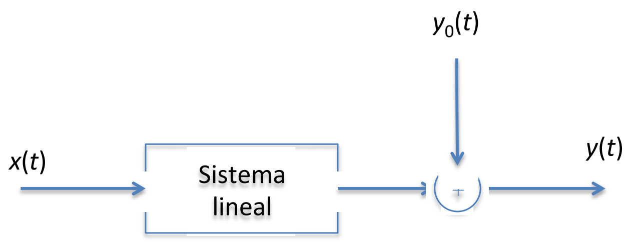


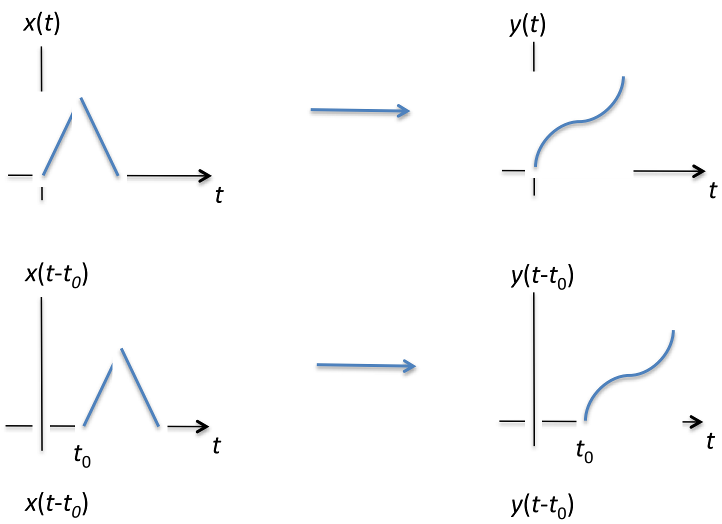
Figura 9: sistema afín

Afortunadamente, dada la estructura fundamentalmente lineal de los sistemas afines preservan muchas de las características de los sistemas lineales y, eliminando su componente continua, se pueden modelizar con estrategias analíticas propias de los sistemas lineales.

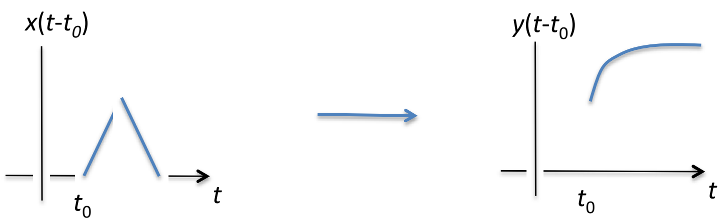
Invariancia temporal

Un sistema es invariante en el tiempo si un desplazamiento en la señal de entrada causa un desplazamiento en la señal de salida. La figura 10 muestra gráficamente la diferencia entre un sistema variante e invariante en el tiempo.

Más formalmente, si $y(t)$ es la salida del sistema cuando en la entrada tenemos $x(t)$, entonces $y(t\text{-}t_0)$ es la salida cuando en la entrada tenemos $x(t\text{-}t_0)$. Análogamente, en sistemas de tiempo continuo la salida sería $y[n\text{-}n_0]$ cuando en la entrada tengamos $x[n\text{-}n_0]$.



(a) Sistema invariante en el tiempo



(b) Sistema variante en el tiempo

Figura 10: concepto de invariancia temporal

5.6. La resonancia

Antes de leer este apartado deberás visualizar la lección magistral del tema.

La **resonancia** es la inclusión de señales retrasadas de una señal. En el caso acústico estas se pueden producir por reverberación de la señal en las paredes pero la resonancia puede producirse con cualquier señal a cualquier frecuencia. La figura 11 modela un sistema de resonancia donde t_0 representa el retraso (en segundos) y α la amplificación de la señal retrasada. Habitualmente α<1. Por ejemplo, un α=0.5 indica que la señal reverberada llega atenuada a la mitad.

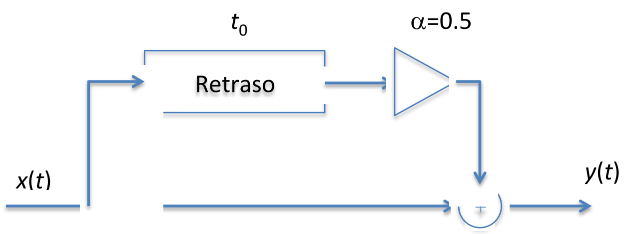


Figura 11: modelo de resonancia

Analíticamente este modelo se puede describir como:

$$y(t) = x(t) + \alpha x(t - t_0) \tag{5}$$

El valor del retraso t_0 determina que la resonancia aumente o disminuya la amplitud de la señal. En concreto se llama **interferencia constructiva** los casos en los que la señal retrasada contribuye a ampliar la señal de salida. Análogamente, se llama **interferencia destructiva** a los casos en los que la señal retrasada contribuye a disminuir la señal de salida.

Si a la entrada tenemos una sinusoidal:

$$x(t) = sin(w_0 t)$$

Aplicando (5), a la salida tendremos una suma de sinusoidales:

$$x(t) = sin(w_0 t) + 0.5sin(w_0 t - w_0 t_0))$$

Donde el **desfase** de la segunda sinusoidal respecto a la primera viene dado por $\phi = w_0 t_0$.

Si el retraso es $t_0 = 2\pi/w_0$, entonces $\phi = 2\pi$, y la señal retrasada se suma a la original produciendo una interferencia constructiva. La figura 12 (a) muestra este caso.

En el extremo opuesto, si el retraso es $t_0 = \pi/w_0$, entonces $\phi = \pi$, y la señal retrasada se contrapone a la original produciendo una interferencia destructiva. La figura 12 (b) muestra este caso.

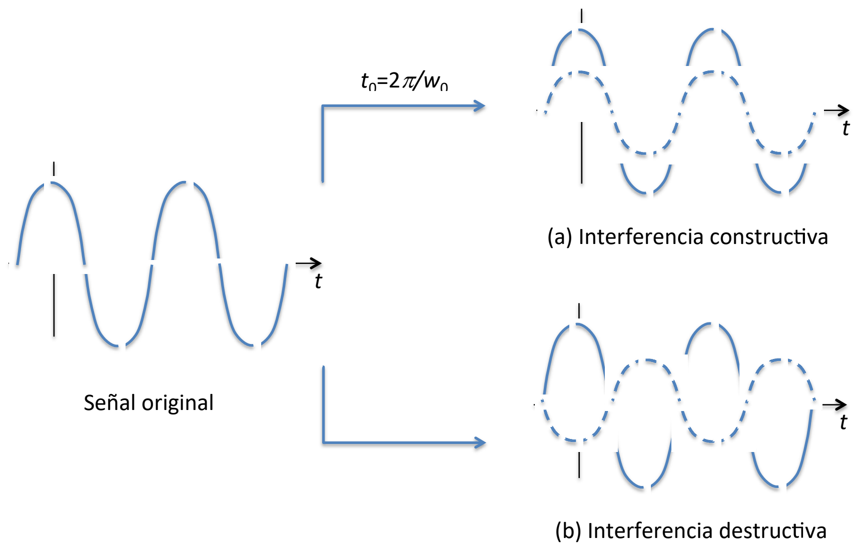


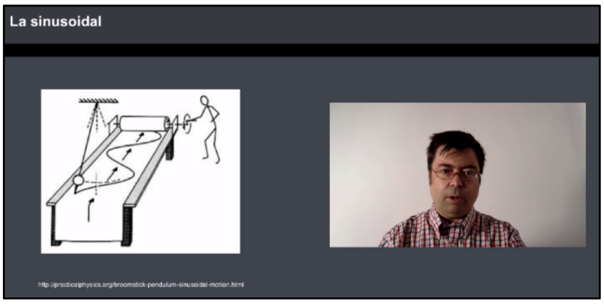
Figura 12: resonancia en sinusoidales

Lo + recomendado

Lecciones magistrales

La sinuosidad

En esta lección magistral vamos a estudiar las propiedades de la suma de sinuosidades.

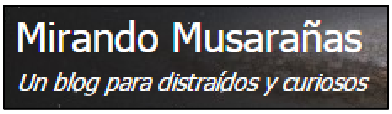


Accede a la lección magistral a través del aula virtual.

No dejes de leer…

La resonancia

Este artículo describe qué es la resonancia mecánica y acústica.

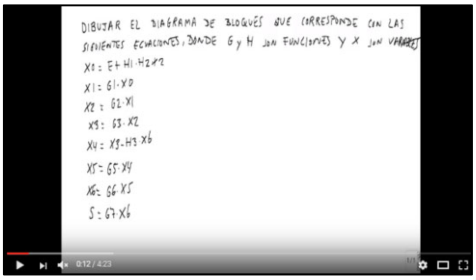


Accede al artículo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
https://fisilosofo.wordpress.com/tag/resonancia/

No dejes de ver…

Dibujar el diagrama de bloques dadas las ecuaciones de las señales

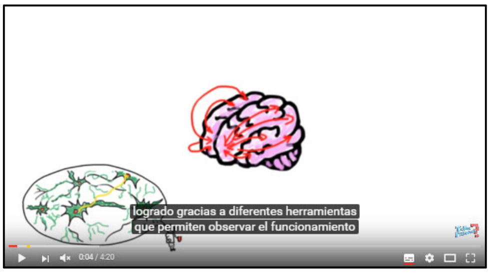
Este tutorial enseña a construir diagramas de bloques dadas las ecuaciones de un sistema.



Accede al vídeo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
https://www.youtube.com/watch?v=465cyxq9Ku4

¿Cómo funciona la imagen por resonancia magnética?

Este vídeo describe qué es una imagen por resonancia magnética y cómo funciona.



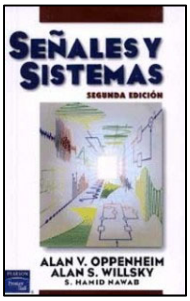
Accede al vídeo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
https://www.youtube.com/watch?v=K4raeZqgT4I

+ Información

A fondo

Señales y sistemas

Oppenheim, A. V. (1998). *Señales y sistemas*. Méjico: Prentice Hall.

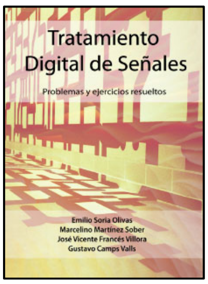


En las páginas 44-52 se describen las propiedades básicas de los sistemas. Además, en las páginas 53-56 se describen los sistemas lineales.

Accede al libro desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
https://books.google.es/books?id=g2750K3PxRYC&pg=PA44

Tratamiento digital de señales: problemas y ejercicios resueltos

Soria, E., Martínez, M., Francés, J. V. y Camps, G. (2003). *Tratamiento digital de señales: problemas y ejercicios resueltos*. Méjico: Pearson.



En las páginas 12-60 tenemos ejercicios de modelización de sistemas.

Accede al libro desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
https://books.google.es/books?id=jkhyWjmJBGUC&pg=PA9

Bibliografía

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

Soria, E. (2003). *Tratamiento digital de señales: problemas y ejercicios resueltos*. Madrid: Pearson.

Test

1. ¿Qué ecuaciones se usan para representar un capacitador?

A. Polinomios.

B. Integrales.

C. Ecuaciones diferenciales.

D. Ecuaciones en diferencias.

2. ¿Qué ecuaciones se usan para representar un retraso?

A. Polinomios.

B. Integrales.

C. Ecuaciones diferenciales.

D. Ecuaciones en diferencias.

3. Un sistema causal es:

A. $x(t-1)$.

B. $x(t+1)$.

C. $y(t)=x^2(t)$.

D. $y[n]=x[n]+x[n+1]$.

4. Un sistema anticipatorio es:

A. $x(t-1)$.

B. $x(t+1)$.

C. $y(t)=x^2(t)$.

D. $y[n]=x[n]+x[n+1]$.

5. Un sistema con memoria es:

A. $x(t-1)$.

B. $x(t+1)$.

C. $y(t)=x^2(t)$.

D. $y[n]=x[n]+x[n+1]$.

6. ¿Cuál de estos sistemas es inestable?

A. $y(t)=x^e(t)$.

B. $y(t)=e^t$.

C. $y(t)=\sqrt{t}$.

D. Ninguno de los anteriores.

7. ¿Cuál de estos sistemas no es invertible?

A. $y(t)=x^e(t)$.

B. $y(t)=e^t$.

C. $y(t)= \sqrt{t}$.

D. Ninguno de los anteriores.

8. ¿Cuál de estas afirmaciones es falsa?

A. Un sistema escalable es lineal.

B. Un sistema escalable es homogéneo.

C. Un sistema lineal puede modelizarse como afín.

D. Un sistema afín puede modelizarse como un sistema lineal.

9. Dada una sinuosidad $sin(w_0t+\varnothing)$, ¿cuál de estas afirmaciones es falsa?

A. La resonancia puede ampliar y reducir una señal.

B. La resonancia puede anular la señal.

C. La resonancia puede cambiar la frecuencia angular de la señal.

D. La resonancia puede cambiar la fase de la señal.

10. Dado el sistema $y(t)=x^2(t)$:

A. El sistema es escalable y aditivo.

B. El sistema solo es escalable.

C. El sistema solo es aditivo.

D. El sistema no es escalable ni aditivo.

