

## I. SISTEMAS, SEÑALES Y MODELOS

*El objetivo de este primer capítulo es definir las principales características de los sistemas y de sus señales asociadas con el fin de llegar a la representación de un diagrama funcional del sistema. Esto no requiere un conocimiento profundo del sistema, más propio de especialistas, pero sí un conocimiento del funcionamiento del mismo, conocimiento que debe formar parte del bagaje cultural de un ingeniero. Al final de este bloque el alumno, a partir de la descripción de un sistema, deberá ser capaz de:*

- *Identificar las señales de entrada y de salida del mismo.*
- *Identificar las causas y los efectos en cada uno de los subsistemas presentes.*
- *Determinar las características principales de dichos subsistemas.*
- *Dibujar un diagrama funcional del sistema.*

### 1 Introducción

#### 1.1 Sistemas

Podemos considerar a un *sistema* como un conjunto de elementos relacionados entre sí, con un objetivo determinado, es decir con una función definida. El primer problema que se plantea a la hora de definir un sistema es fijar las fronteras del mismo, es decir, decidir que elementos forman parte de él y cuales le son ajenos. En principio todos aquellos elementos que influyen en el comportamiento del sistema deben pertenecer al mismo, sin embargo una aplicación estricta de este último enunciado nos llevaría a sistemas de gran complejidad y de difícil manejo. Por ello sólo deben incluirse en el sistema aquellos elementos que tengan una influencia significativa en su comportamiento, lo que implica que la definición del sistema y de su frontera con el exterior está condicionada por el grado de exactitud y de precisión que deseemos alcanzar en nuestro estudio, es decir que la definición del sistema va a depender de la aplicación concreta. Por ello, como se ve en el ejemplo 1, un mismo dispositivo físico puede dar lugar a una gran variedad de sistemas, dependiendo cada uno del enfoque que desee darle el usuario.

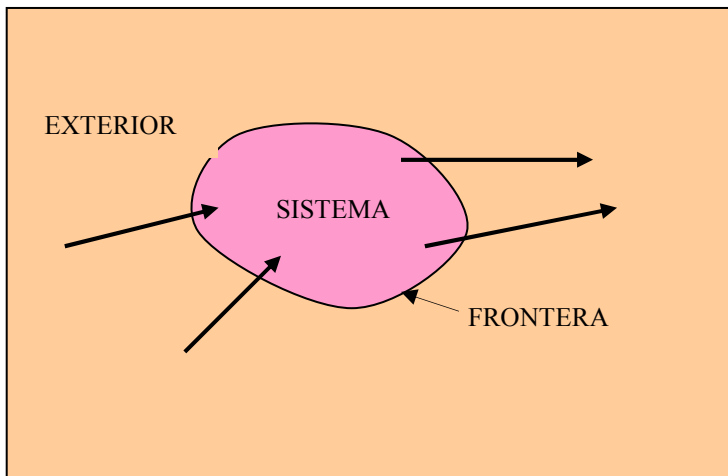


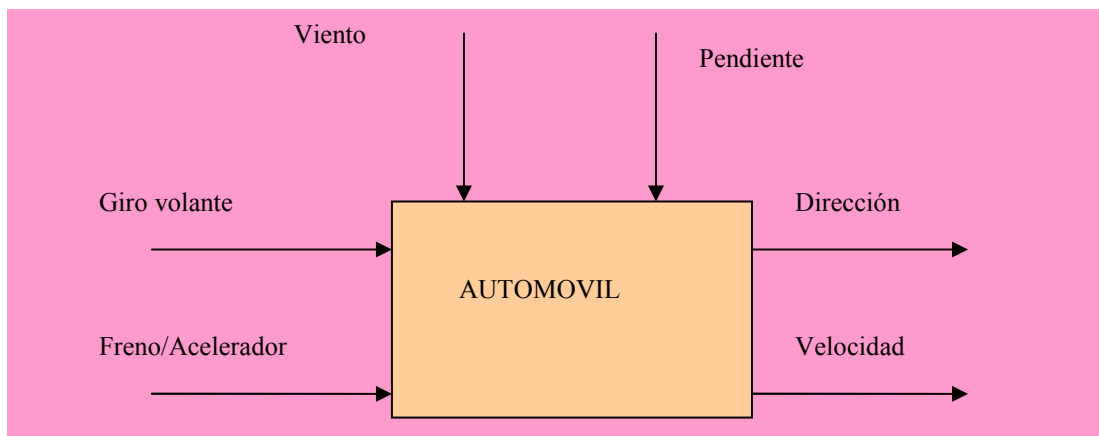
Figura 1

#### Ejemplo 1

Con este ejemplo se pretende mostrar que un mismo dispositivo físico puede dar lugar a sistemas diferentes según el punto de vista del usuario, es decir en función de los objetivos que se planteen en cada caso. Como dispositivo físico común se considerará un automóvil con cambio automático, y como usuarios consideraremos un conductor normal, un conductor profesional deportivo, un técnico diseñador y un agente de tráfico.

Desde el punto de vista de un conductor normal, el vehículo puede ser considerado como un sistema cuyas entradas son la posición del volante y la de los pedales del acelerador y del freno, y cuyas señales de salida son la velocidad y la dirección del coche. El sistema está sometido a perturbaciones (el conductor no puede actuar sobre ellas) como son la fuerza y la dirección del viento o la pendiente de la carretera. Otras señales existentes en el dispositivo (revoluciones del motor, temperaturas del aceite y del agua, presiones y temperaturas de neumáticos, etc.) no son importantes a la hora de realizar una conducción normal (siempre que dichas señales se encuentren dentro de los límites tolerados).

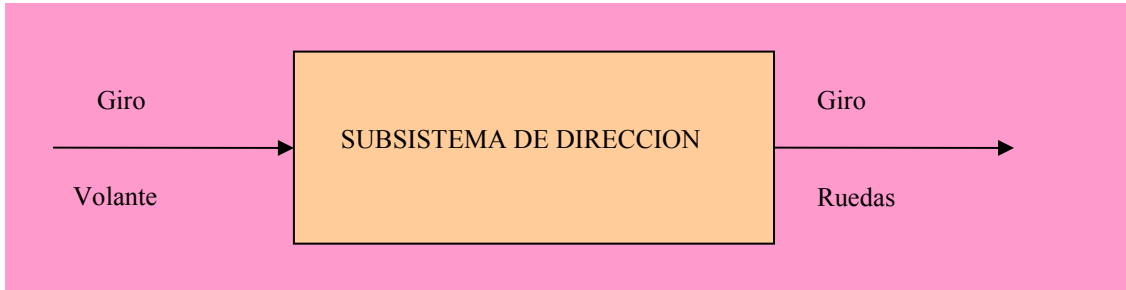
Con este planteamiento se considera que el conductor (pese a estar sentado dentro del coche) es externo al sistema y que actúa sobre él al girar el volante o al pisar los pedales del acelerador y/o del freno.



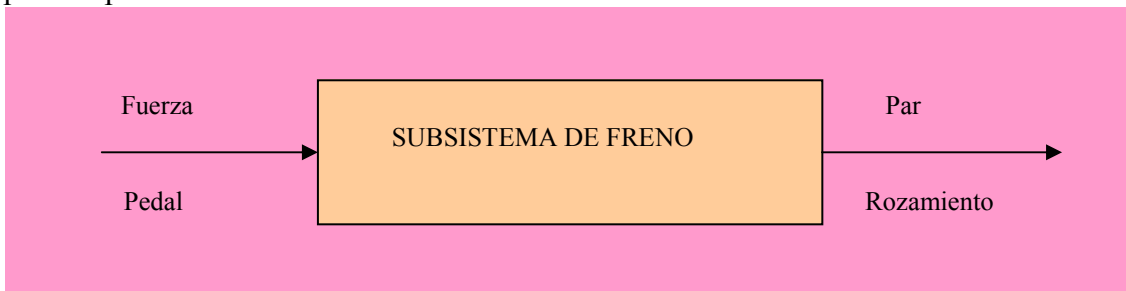
El planteamiento del conductor deportivo es similar, sin embargo necesita más información para sacar todo el rendimiento posible del vehículo durante una competición. Seguramente estará más interesado en las revoluciones del motor que en la velocidad del vehículo, igualmente, si desea terminar la competición, debe vigilar la temperatura del aceite y del agua para evitar averías. Igualmente debe comprobar que la temperatura y la presión de los neumáticos es la adecuada en cada instante para asegurar una correcta adherencia de los mismos. Por lo tanto el esquema anterior seguirá siendo válido, sólo que añadiendo más señales de salida al bloque del automóvil. En la práctica esto se traduce en el gran número de indicadores existentes en el salpicadero de un vehículo de carreras.

Desde el punto de vista de un mecánico, o de un diseñador de automóviles, el coche está constituido por un número muy elevado de subsistemas (motor, carrocería, dirección, carburador o inyector, etc...), cada uno de ellos con su propia funcionalidad. Por ejemplo el subsistema de dirección permite girar las ruedas del vehículo al girar el

volante:

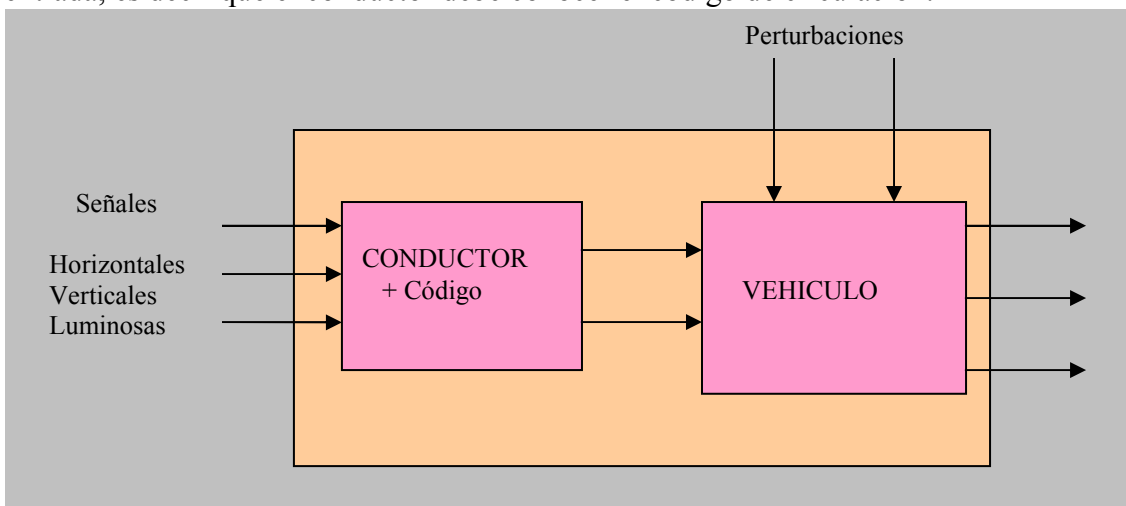


A su vez el subsistema de freno, aumenta el par de rozamiento en las ruedas al pisar el pedal del freno.



El sistema total estará constituido, desde este punto de vista por la unión de todos los subsistemas parciales. Desde este punto de vista el conductor no existe (únicamente se le tiene en cuenta a la hora del diseño ergonómico de determinados subsistemas).

Desde el punto de vista de un agente de tráfico, el vehículo y su conductor forman un sistema que debe cumplir sus indicaciones así como las normas del código de la circulación, por lo tanto las señales de entrada en este caso están constituidas por las señales existentes en la carretera o las que el propio agente genere, y las de salida serán aquellas señales que, vistas o medidas desde el exterior, indiquen al agente que el sistema ha cumplido las normas de tráfico (velocidad, trayectoria, luces, etc.). Para el agente el sistema está constituido por el vehículo y su conductor salvo en casos muy concretos en que su atención se centra exclusivamente en alguno de los dos subsistemas (control de alcoholemia del conductor, tarjeta de la ITV del vehículo). Por supuesto para que este sistema funcione satisfactoriamente es necesario no sólo que el conductor sepa manejar el vehículo, sino que además debe ser capaz de interpretar las señales de entrada, es decir que el conductor debe conocer el código de circulación.



## 1.2 Señales.

Una vez definido el sistema y su frontera, es necesario conocer cuales son las señales que pueden ser modificadas desde el exterior y que influyen en el comportamiento del mismo. Estas señales, que denominaremos de entrada, no dependen de ninguno de los elementos del sistema y son las que nos van a permitir actuar sobre el sistema para que se comporte en la forma deseada. Esto significa que una característica que deben cumplir las señales de entrada es la de ser fácilmente manipulables por el dispositivo que va a actuar sobre el sistema. El comportamiento del sistema lo mediremos mediante las señales de salida, que contienen la información que atraviesa la frontera para alcanzar el exterior del sistema. Es importante por lo tanto elegir adecuadamente dichas señales de salida de forma que la información que suministran al exterior sea representativa del comportamiento del sistema. Igualmente dichas señales deben ser medibles puesto que si no lo fueran no aportarían ninguna información.

En muchos casos existen señales de entrada, que actúan sobre el sistema, pero que no pueden ser modificadas libremente y cuyos valores por lo tanto no pueden ser fijados por el operador. Estas señales se denominan perturbaciones y en muchos casos representan el efecto que ejercen sobre el sistema los elementos que no han sido incluidos dentro de sus fronteras.

### **Ejemplo 2**

En el ejemplo anterior el conductor, que es externo al vehículo, actúa sobre el mismo, es decir lo conduce, modificando la posición de los pedales y del volante, por lo tanto la posición de los pedales, por una parte, y la posición del volante, por otra, constituyen las dos señales de entrada al sistema. Es importante resaltar que los pedales y el volante son dispositivos que facilitan la actuación del conductor sobre las señales físicas reales: par de rozamiento, composición de la mezcla, dirección de las ruedas. Este tipo de dispositivos se denominan actuadores o accionadores.

En cuanto a las señales de salida, independientemente de que puedan existir otras muchas, en el caso de conducción más elemental, se consideran la velocidad del vehículo y su dirección. La primera se mide mediante algún dispositivo y su valor se representa en el cuadro de instrumentos del vehículo, para información del conductor, y la segunda la mide directamente el conductor utilizando el sentido de la vista. Es por lo tanto necesario disponer de dispositivos de medida que traduzcan la realidad física de las señales a un dominio entendible por el operador. Estos dispositivos se denominan sensores o captadores.

## 1.3 Representación externa de los sistemas

El comportamiento del sistema queda definido por la relación entrada-salida que describe la forma en que las variaciones en las señales de entrada modifican las señales de salida. En este sentido las entradas constituyen las causas que provocan los efectos en las señales de salida y, por lo tanto, en el comportamiento del sistema.

Igualmente un subconjunto de elementos del sistema puede constituir un subsistema del mismo, siempre que dicho subconjunto tenga a su vez una funcionalidad clara. De este modo un sistema complejo puede representarse como una serie de subsistemas relacionados entre sí mediante la interconexión de sus señales.

Esta forma de trabajar con los sistemas, en la que sólo nos interesan las entradas y las salidas del mismo, es lo que se denomina *representación externa de los sistemas*. Esta representación tiene el inconveniente de no conocer los detalles internos del sistema, lo que puede dar lugar a comportamientos peligrosos desde el punto de vista de la integridad de alguno de los elementos internos del sistema. Sin embargo presenta una doble ventaja: por un lado da lugar a desarrollos más simples al ignorar un gran número de elementos del sistema, y por otro nos permite centrarnos en el comportamiento funcional del sistema. Es decir, si las señales de salida están adecuadamente elegidas, su evolución representa la evolución del sistema, al menos desde el punto de vista funcional.

Este enfoque por el que nos limitamos a analizar las relaciones existentes entre las entradas al mismo, es decir las actuaciones que ejercemos sobre él, y las salidas es decir su respuesta a dichas actuaciones forma parte de lo que se denomina el enfoque sistémico. Dicho enfoque nos permite hacer hincapié en el comportamiento global del sistema, despreciando, o incluso ignorando, el comportamiento de sus elementos internos. De esta forma podremos fijar nuestra atención en las relaciones de los distintos sistemas entre sí, sin necesitar un conocimiento profundo y detallado de cada uno de ellos.

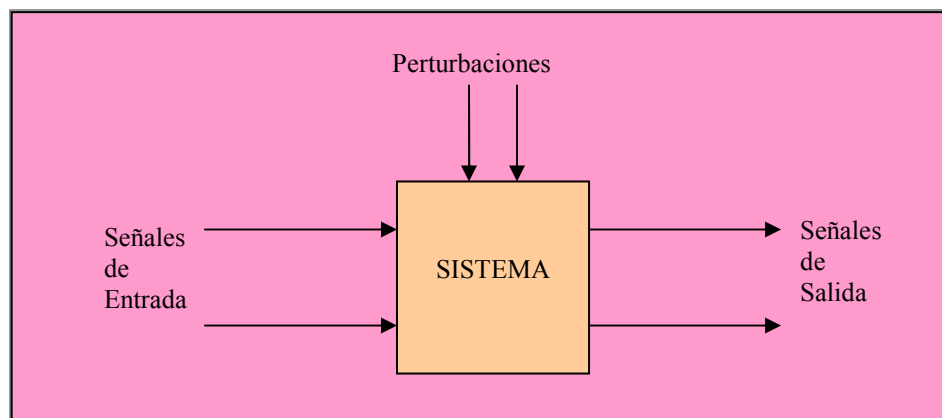


Figura 2

#### 1.4 Representación interna de los sistemas

Una forma alternativa de representar un sistema es mediante lo que se denominan sus señales de estado. Estas señales, en su conjunto, definen el estado del sistema, es decir la situación en la que se encuentra todo el sistema en cada instante. Esta representación, que se denomina *representación interna de los sistemas*, tiene la ventaja de tener en cuenta toda la información asociada al sistema, lo que requiere, y eso no siempre es posible, un conocimiento exhaustivo de todo el sistema, lo que puede constituir un grave inconveniente. Con este enfoque, el estudio de un sistema consistirá en conocer la evolución de dichas señales de estado ante variaciones en las señales de entrada. Las señales de salida, es decir las medidas que en cada caso pueden interesarnos, serán una consecuencia inmediata de las señales de estado y de las entradas.

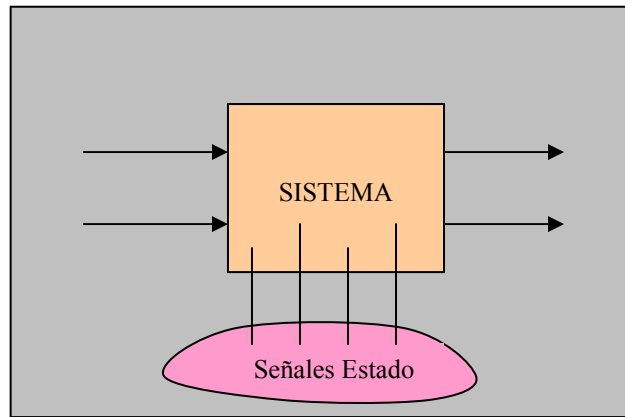


Figura 3

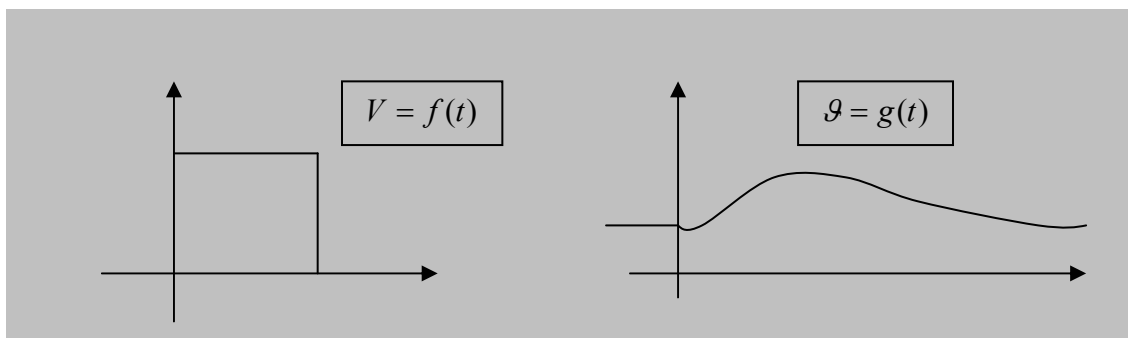
## 2. Clasificación de los sistemas

### 2.1 Sistemas continuos y discretos

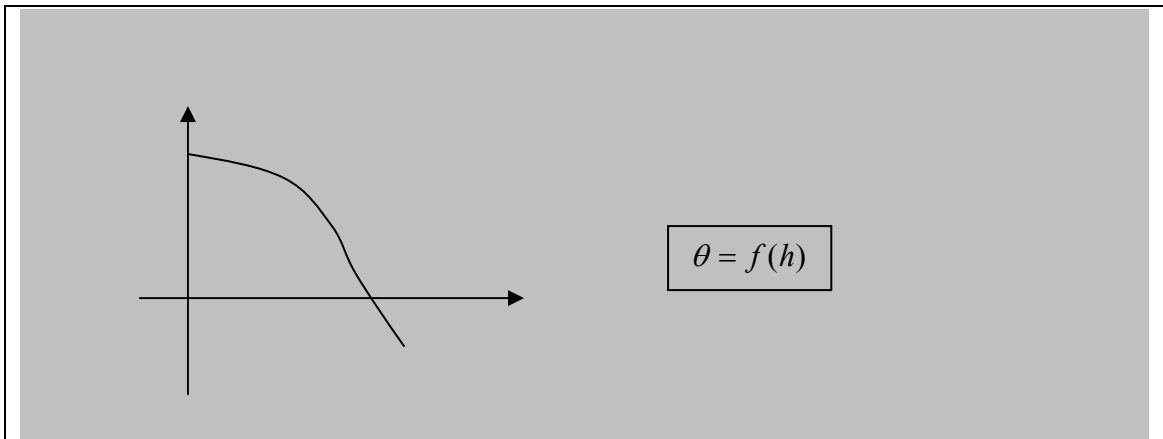
En función de las características de las señales que actúan sobre el sistema haremos la primera clasificación de sistemas: si dichas señales están definidas en todo instante de tiempo se denominarán señales de tiempo continuo y diremos que el *sistema es continuo*. Si las señales sólo toman valores en determinados instantes, se denominarán señales de tiempo discreto y el sistema se llamará *discreto*. Esta definición presupone que la variable independiente es siempre el tiempo, lo que se cumple en la gran mayoría de los sistemas físicos habituales en ingeniería pero que deja de ser cierto en muchos los sistemas discretos en los que la variable independiente es el orden de los distintos datos.

#### Ejemplo 3

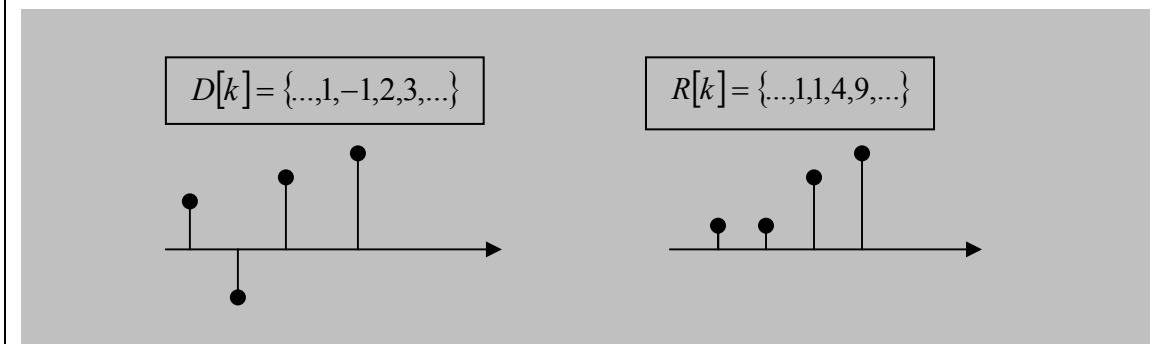
Si pretendemos estudiar el comportamiento térmico de un sistema de calefacción, las señales involucradas en el mismo: temperatura de la habitación, tensión eléctrica aplicada al radiador, están definidas en todo instante de tiempo, por lo que el sistema es continuo y la variable independiente es el tiempo, puesto que nos interesa conocer la evolución en el tiempo de dichas señales.



Si lanzamos al espacio un globo meteorológico para medir la temperatura de las distintas capas de la atmósfera, la variable independiente es la altura puesto que nos interesa conocer la evolución de la temperatura en función de la altura. Como sea cual sea la altura existe una temperatura, esta señal es de tiempo continuo aunque la variable independiente sea la altura.



Un algoritmo que calcula el cuadrado de los elementos de una tabla es un sistema discreto en el que la variable independiente es el orden del dato en la tabla. Obviamente entre el primer y el segundo dato no existe ninguno, exactamente lo mismo que ocurre con los resultados, no existe ninguno intermedio.

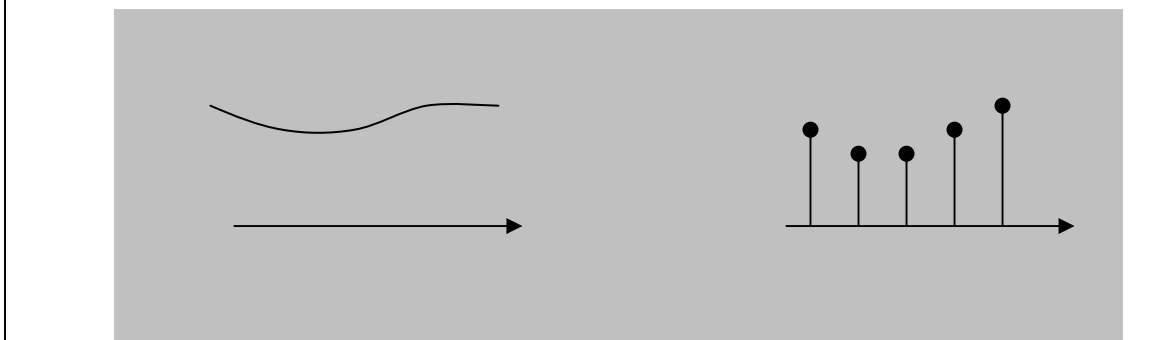


## 2.2 Sistemas muestreados

Más adelante veremos que la utilización de un computador, que es un sistema discreto, requiere, para conectarlo a sistemas físicos continuos, modificar las señales físicas del sistema para convertirlas en señales de tiempo discreto. Este tipo de sistemas, en origen continuos, pero cuyas señales han sido convertidas a tiempo discreto se denominan sistemas muestreados. En ellos la variable independiente de sus señales es el orden, por ser señales discretas, pero a la vez el orden está relacionado con el tiempo, debido al origen continuo de las mismas.

### Ejemplo 4

Para medir la temperatura, se dispone de un termómetro digital que toma muestras cada 0,1s de la temperatura real. La figura muestra la evolución en el tiempo de dicha temperatura y la secuencia de datos que entra en el dispositivo digital una vez muestreada dicha señal con un periodo de muestreo de  $T = 0,1s$



Puede verse que se cumple la relación  $x[k] = x(kT)$ 

### 2.3 Sistemas digitales

Existen sistemas cuyas señales no pueden tomar cualquier valor real, bien por la propia característica física de la señal (el número de habitantes de una ciudad tiene que ser un número natural), bien por las características del dispositivo que utilizaremos para representar o medir la señal (en un computador el valor de los datos almacenados está cuantificado, dependiendo la separación entre dos datos consecutivos del tipo de representación utilizado y de la longitud de palabra). En los sistemas digitales las señales están muestreadas y cuantificadas.

### 2.4 Sistemas causales y no causales

Independientemente del tipo de sistema, podemos clasificarlos también en causales y no causales. Los *sistemas causales* son los que responden al principio de causalidad, es decir es necesario que se produzca la causa (la entrada al sistema) para que se genere el efecto (la respuesta). Todos los sistemas físicos en los que la variable independiente sea el tiempo responden a dicho principio puesto que la reacción no se puede anticipar a la causa, por lo que en muchas ocasiones llamaremos a los sistemas no causales como sistemas no realizables físicamente. Sin embargo si la variable independiente ni es, ni está relacionada con el tiempo, lo que ocurre en muchos sistemas discretos, no hay ningún problema en realizar sistemas reales no causales.

### **Ejemplo 5**

Como consecuencia de la fuerza que aplicamos sobre una masa, esta se desplaza. La fuerza es la causa, el desplazamiento es el efecto y el sistema es causal. No hay desplazamiento antes del instante en el que se aplica la fuerza.

Un programa que sustituye cada dato por el valor medio de dicho dato, el anterior y el siguiente es un sistema no causal perfectamente realizable. Bastaría con programar algo tan simple como el siguiente algoritmo:

$$y[k] = (y[k-1] + y[k] + y[k+1]) / 3$$

donde  $k$  indica el orden de los datos y de los resultados. Al no tener  $k$  ninguna relación con el tiempo es perfectamente realizable que el resultado en  $k$  sea función del dato en  $k+1$ .

### 2.5 Sistemas estáticos y dinámicos

Los *sistemas estáticos* son aquellos cuyas señales de salida varían instantáneamente al variar las señales de entrada. En los *sistemas dinámicos* por el contrario la variación de la señal de salida, ante una variación en la señal de entrada, se produce de forma progresiva durante un cierto tiempo. Los sistemas dinámicos pueden ser más o menos rápidos en función del tiempo de respuesta: si el tiempo de respuesta es pequeño el sistema es rápido, si es grande, el sistema es lento. Así un sistema estático puede ser considerado como un sistema dinámico de tiempo de respuesta cero o de velocidad infinita

### **Ejemplo 6**

El coche modelo A alcanza los 200 Km/h de velocidad máxima y tarda 10 segundos en pasar de 0 a 100Km/h. El modelo B sólo alcanza los 190 Km/h de velocidad máxima pero pasa en 9 segundos de 0 a 100 Km/h. ¿Cuál de los dos coches tiene una dinámica más rápida?

La dinámica del modelo B es más rápida, independientemente de que su velocidad máxima sea menor que la del modelo A. Lo que importa para medir la dinámica de un sistema es el tiempo de respuesta de señal de salida (la velocidad) ante variaciones en la señal de entrada (en este caso el acelerador).

### Ejemplo 7

La relación entre la posición del volante de un vehículo y la posición de las ruedas debe ser un sistema estático (o bien dinámico con un tiempo de respuesta muy pequeño), puesto que la respuesta (el giro de las ruedas) debe ser inmediata a la acción (el giro del volante)

Nuestro objetivo es estudiar los sistemas dinámicos, para ello no basta con conocer el *valor final* de la respuesta ante cualquier señal de entrada, sino que es también muy importante analizar el *régimen transitorio* de dicha respuesta, es decir los primeros instantes de la misma

### Ejemplo 8

Dos termómetros digitales para medir la temperatura del cuerpo humano tienen la misma precisión, sin embargo el primero genera una lectura válida a los dos minutos mientras que el segundo sólo tarda un minuto en generar dicha lectura.

La dinámica del segundo termómetro es más rápida que la del primero. En igualdad de condiciones este segundo termómetro es preferible al primero.

La existencia del régimen transitorio de las respuestas de los sistemas dinámicos hace que el valor de la señal de salida en un determinado instante  $t_0$ , dependa del valor de la señal de entrada en dicho instante  $t_0$  y en instantes anteriores. Esta propiedad hace que los sistemas dinámicos sean *sistemas con memoria*, puesto que su comportamiento en cualquier instante depende del pasado del sistema. Por su parte los sistemas estáticos o instantáneos, son *sistemas sin memoria*.

En muchos casos, pese a que el sistema sea dinámico, se considerará estático si su velocidad es mucho mayor que la del resto de los sistemas implicados. Por lo tanto considerar un sistema como estático o dinámico, depende más de la relación de su velocidad con las de los restantes sistemas que del valor absoluto de dicha velocidad.

Otra forma de entender la dinámica de los sistemas es considerar que las señales de entrada suponen una energía que se aplica al sistema, y, por lo tanto, si el sistema tiene dinámica quiere decir que no es capaz de transmitir instantáneamente dicha energía a la salida, o, lo que es lo mismo, que el sistema dispone de elementos capaces de almacenar temporalmente dicha energía.

También puede considerarse que las señales de entrada aportan información al sistema, cuyo fin es procesarla y generar unos resultados que son las señales de salida. Con este planteamiento, un sistema dinámico es aquel cuyos resultados en un determinado instante dependen de todos los datos introducidos al sistema en ese instante y en instantes anteriores. Desde este punto de vista cualquier sistema es un procesador de información.

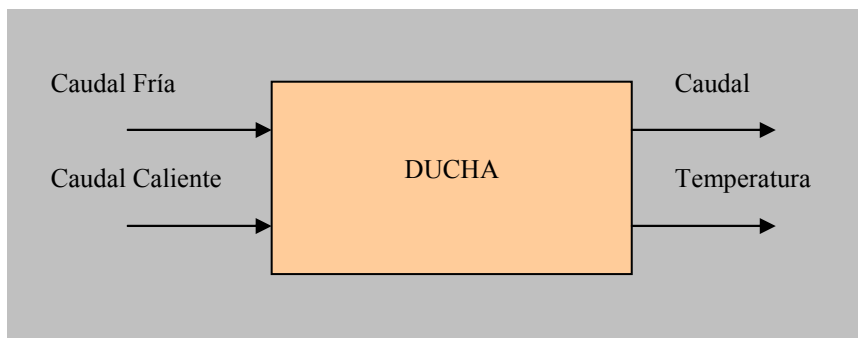
## 2.6 Sistemas monovariantes y multivariantes

En el caso de que sólo se considere una señal de entrada y otra de salida, el sistema se denomina *monovariante*, siendo *multivariantes* los sistemas con más de una

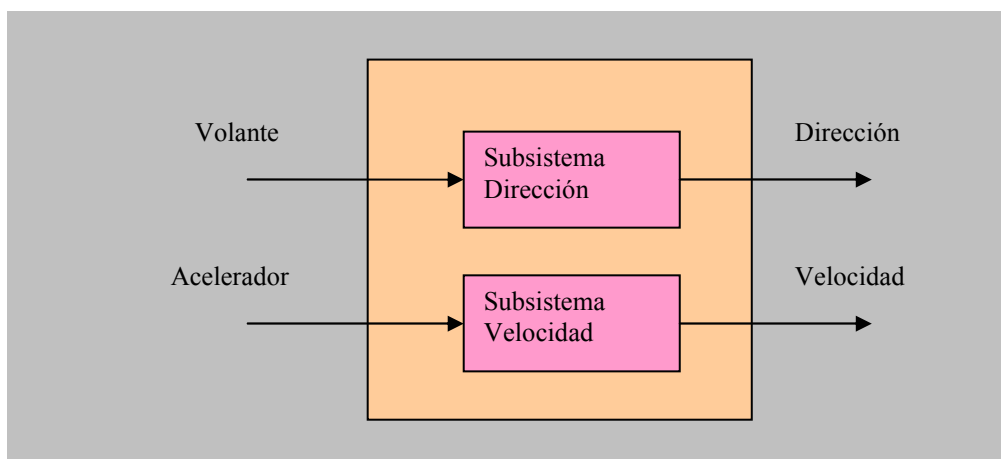
entrada y salida. Un caso particular de los sistemas multivariables lo constituyen los sistemas desacoplados en los que cada una de las señales de entrada sólo influye sobre una señal de salida. Este tipo de sistemas tiene un tratamiento similar al de los sistemas monovariables.

### Ejemplo 9

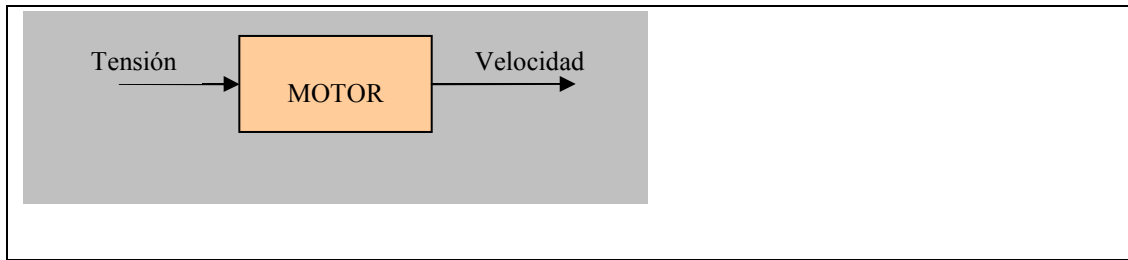
Una ducha puede considerarse un sistema multivariable con dos entradas, caudal de agua fría y caudal de agua caliente, y dos salidas, temperatura del agua y caudal del agua de salida. Las temperaturas del agua fría y del agua caliente se consideran constantes. Este sistema está acoplado puesto que la variación de cualquiera de las señales de entrada influye sobre las dos señales de salida



La conducción de un automóvil puede también considerarse como un sistema multivariable con dos entradas, aceleración y giro del volante, y dos salidas, velocidad y dirección. Tanto en recta, como en curva si no se producen variaciones de velocidad dentro de ella, el sistema puede considerarse desacoplado, influyendo la aceleración sobre la velocidad y el giro del volante sobre la dirección.



Un motor de corriente continua alimentado en tensión puede considerarse un sistema monovariable en el que la entrada es la tensión de alimentación y la salida es la velocidad de giro del eje.



### 2.7 Sistemas estables e inestables

Existen varias definiciones de estabilidad, aunque en la práctica son equivalentes. Una de ellas es la que se denomina BIBO (Bounded Input, Bounded Output) que considera estables aquellos sistemas que responden con una señal acotada ante cualquier señal acotada de entrada. Por lo tanto basta encontrar una señal de entrada acotada que genere una señal no acotada, para considerar al sistema inestable.

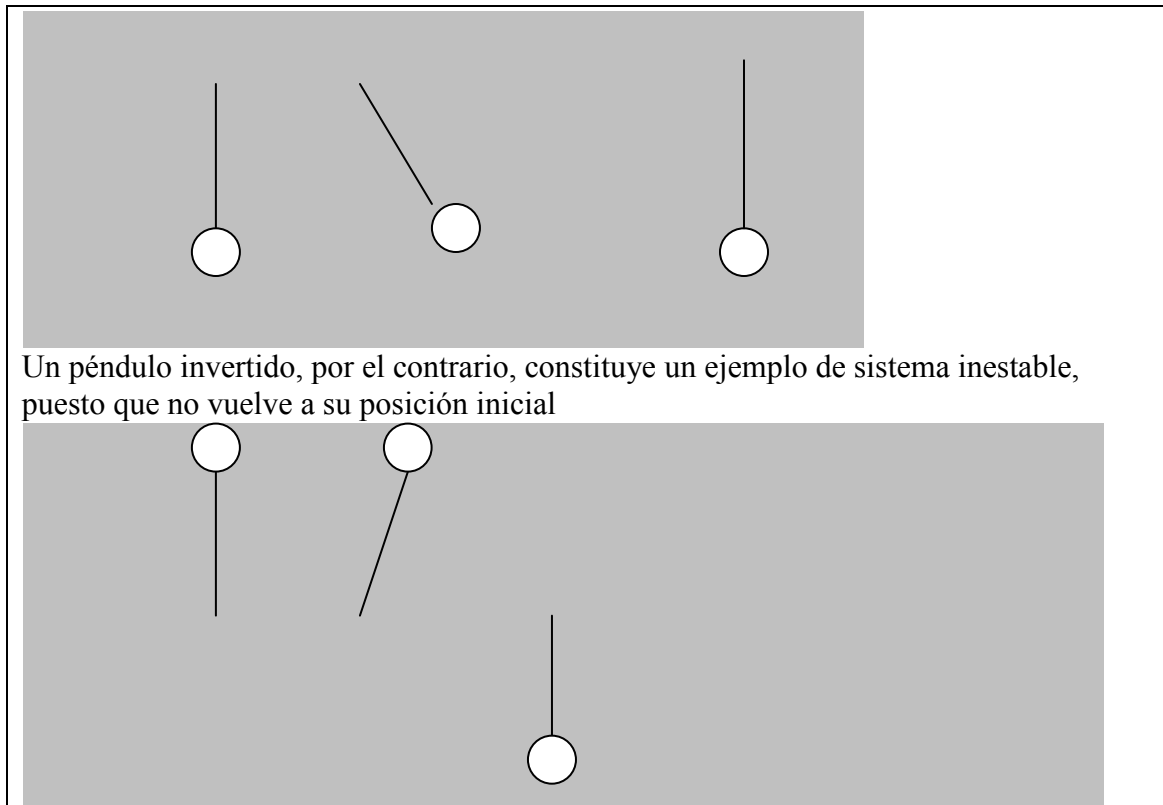
Un integrador alimentado por una señal constante genera una señal que crece indefinidamente por lo que el integrador es un sistema inestable.

```
graph LR; Entrada[Entrada] --> Salida[Salida];
```

También se puede definir como estable aquel sistema que partiendo del equilibrio y sometido a una perturbación acotada en el tiempo, vuelve a su posición de equilibrio, una vez que termina el efecto de la perturbación.



Un péndulo es un ejemplo de sistema estable de acuerdo con esta definición



Utilizando esta segunda definición, se puede entender fácilmente la importancia práctica del concepto de estabilidad, sobre todo si se tiene en cuenta que no es posible aislar absolutamente al sistema de su entorno y que, por lo tanto, siempre va a estar sometido a perturbaciones.

Así, si el sistema es estable, al llegar una perturbación, el sistema reaccionará y se desviará de su posición de reposo inicial, pero al desaparecer la perturbación el sistema tenderá a volver a su situación inicial, tardando más o menos en función de su dinámica.

Ahora bien si el sistema es inestable, en el mejor de los casos vuelve a una posición diferente, por lo que, en la práctica, la perturbación de duración limitada ha producido una variación permanente. Si llegase una nueva perturbación, el fenómeno se repetiría acumulando la desviación. En la práctica para poder utilizar un sistema inestable es necesario corregir constantemente las desviaciones producidas por las perturbaciones lo que implica la utilización de un sistema de control. El diseño de dicho control se complica notablemente con relación al correspondiente a un sistema estable.

### 3. Modelos de Sistemas

Un modelo de un sistema es una representación del mismo que consideramos adecuada para determinados fines. En el campo de la ingeniería es habitual utilizar representaciones gráficas para definir determinados aspectos de los sistemas. Así, por ejemplo, en los circuitos eléctricos cada componente se representa por un símbolo y las conexiones por trazos que unen dichos símbolos. Estos esquemas son modelos de los sistemas eléctricos en los que se hace hincapié en los componentes utilizados y en su interconexión. Para conocer el comportamiento del sistema así representado es necesario que el ingeniero aporte un conocimiento teórico del comportamiento de cada uno de los elementos representados. Este conocimiento se suele concretar en una ecuación matemática que representa la relación existente entre cada una de las señales presentes en el esquema. Esta ecuación, o conjunto de

ecuaciones es lo que se denomina modelo matemático del sistema. Así la ley de Ohm, por ejemplo, es el modelo matemático de un sistema físico llamado resistencia, donde  $u(t)$  e  $i(t)$  representan la evolución en el tiempo de las señales tensión e intensidad. En otros casos la relación entre las señales presentes en un dispositivo físico sólo se conoce desde un punto de vista empírico y normalmente, en estos casos la información se suministra en forma gráfica. Así es habitual que la relación entre la señal de salida y la señal de entrada de un sensor esté constituida por una gráfica o por un conjunto de gráficas. Se trata en este caso de un modelo gráfico del comportamiento del sistema.

El modelo matemático de un sistema está constituido por la ecuación, o por el sistema de ecuaciones, que relaciona los valores de las distintas señales que aparecen en el sistema. Las señales, que tienen una realidad física (por ejemplo una intensidad de corriente), se convierten en funciones matemáticas de una variable independiente (en general el tiempo) que representan la evolución, en función de la variable independiente, de la señal física. Los parámetros de las ecuaciones del modelo vienen determinados por las características fijas de los elementos del sistema (valor de una resistencia, o de una masa, una superficie, etc.).

Es importante insistir en que, dado un sistema, no existe un sólo modelo matemático del mismo, sino que cualquier modelo matemático no es más que una aproximación, y por lo tanto una simplificación, del comportamiento real del sistema. Esto tampoco significa que un modelo sea tanto mejor cuanto más se aproxime al comportamiento real, puesto que este planteamiento nos llevaría a modelos matemáticamente muy complejos. El mejor modelo es el más simple de los que consiguen una aproximación al comportamiento real del sistema, suficiente para la aplicación en cuestión. Esto es, un modelo no es ni bueno ni malo por sí mismo. Su calidad depende de las circunstancias de la aplicación concreta en la que se vaya a utilizar.

En este sentido conviene resaltar que el proceso por el que pasamos de un sistema físico real a un modelo matemático, es un proceso lleno de inexactitudes (y a veces de desconocimiento) y donde para hablar de precisión es necesario ligarla con la validez de los resultados obtenidos. Así, dado un sistema físico real, que puede ser complejo, el primer paso consiste en obtener una imagen de dicho proceso. En este paso se desecha mucha información relativa al sistema, bien por ignorancia (lo que puede acarrear graves consecuencias), o bien porque se considera que la información desechada no es trascendente para nuestro objetivo. El segundo paso consiste en hallar un modelo matemático de nuestra idea de proceso, y aquí solo tendremos en cuenta aquellas relaciones que puedan influir de forma significativa en los resultados de nuestro estudio. Por lo tanto de un solo sistema físico real podemos obtener muchas imágenes distintas del sistema (una para cada objetivo que tengamos), y de cada una de estas imágenes podemos obtener varios modelos matemáticos (dependiendo de la aplicación, del grado de precisión, etc.).

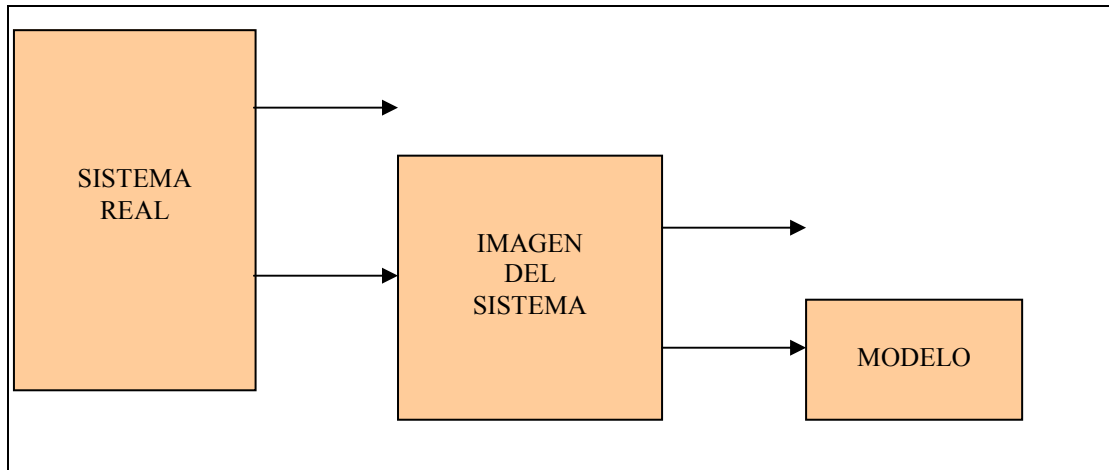


Figura 4

#### 4. Diagrama funcional de los sistemas

Del conocimiento del funcionamiento y, por lo tanto, de las relaciones de causa efecto existentes entre cada una de sus señales, podemos extraer el diagrama funcional del sistema. Este diagrama es una representación gráfica del sistema en la que a diferencia de los esquemas habituales en los que se subrayan los aspectos físicos del sistema, nos fijaremos más en los aspectos de funcionamiento del mismo. Normalmente, si el sistema es suficientemente complejo, será necesario obtener previamente los diagramas funcionales de cada uno de los subsistemas que integran el sistema total. El diagrama funcional de un sistema no es más que una representación gráfica del mismo en la que se hace hincapié, no tanto en los aspectos técnicos del mismo, como en la forma en la que se transmiten las señales a lo largo del sistema.

Para poder representar el diagrama funcional de un sistema no es necesario un conocimiento profundo del funcionamiento de cada uno de los elementos que lo componen, basta, aunque a veces eso es complicado, tener claro el funcionamiento global de los subsistemas y las interrelaciones existentes entre ellos. Igualmente es fundamental conocer las entradas (las causas) al diagrama y las salidas. De esta forma obtendremos la representación externa de cada uno de los subsistemas

##### Ejemplo 10

Descripción del sistema:

El sistema está constituido por un depósito de sección circular alimentado a través de una válvula motorizada. En la salida del depósito existe una válvula de funcionamiento manual.

Esquema:

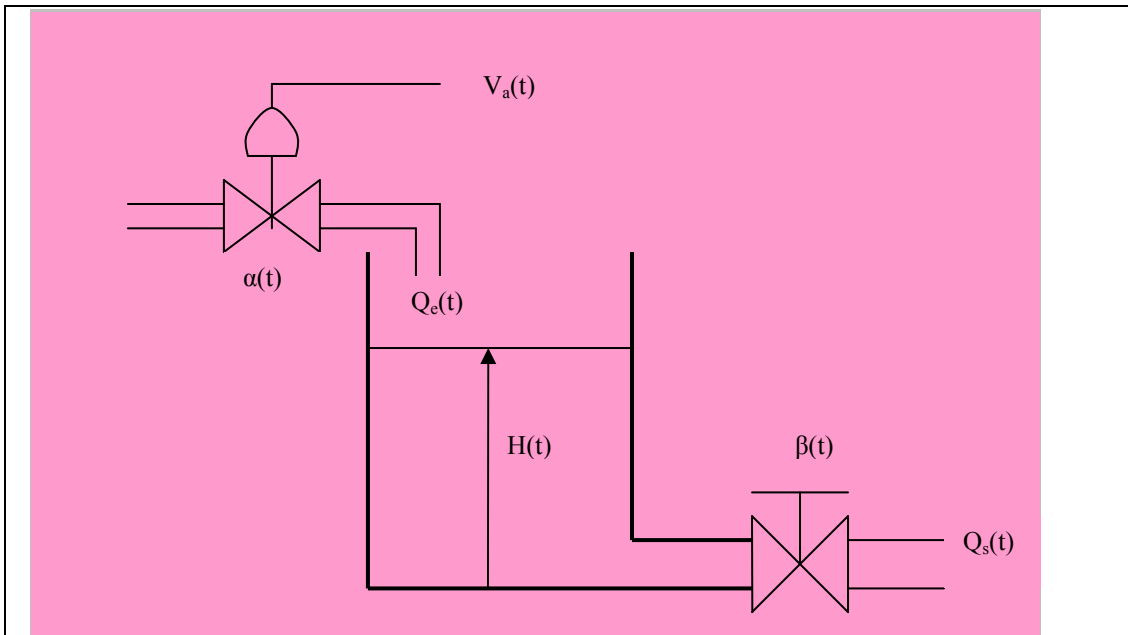
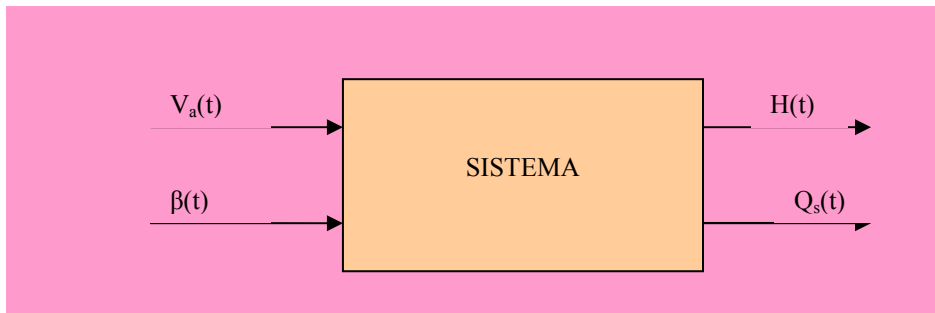


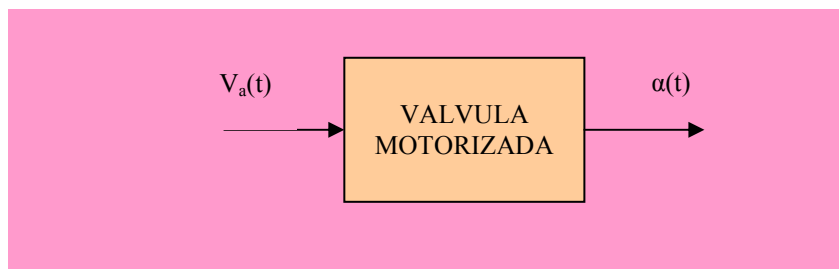
Diagrama Funcional:

En el esquema anterior aparecen las principales señales que intervienen en el comportamiento del sistema. Las únicas que son accesibles desde el exterior del sistema son la tensión de alimentación de la válvula motorizada,  $V_a(t)$ , y la sección de paso de la válvula de salida,  $\beta(t)$ . Por lo tanto estas dos señales son las de entrada del diagrama funcional. En cuanto a las salidas, dependiendo de la aplicación, interesará conocer el valor del nivel del líquido en el depósito,  $H(t)$ , o el caudal de salida  $Q_s(t)$ . Consideraremos a estas dos señales como las de salida del sistema, con lo que el diagrama funcional quedará:

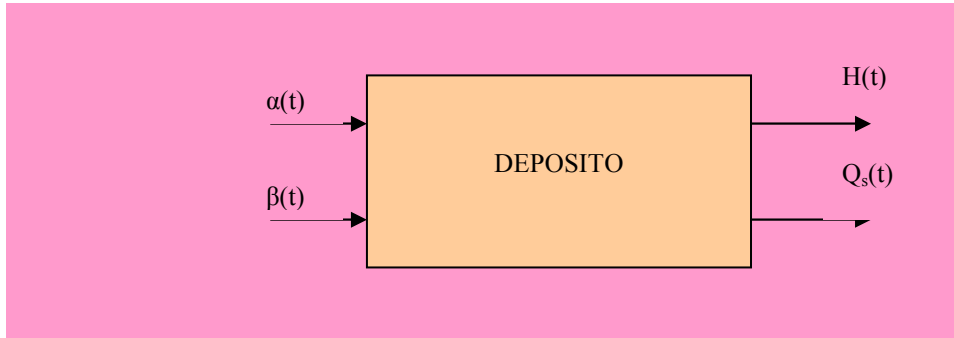


De la descripción del sistema se deduce fácilmente que este está constituido por dos subsistemas, el depósito propiamente dicho y la válvula motorizada.

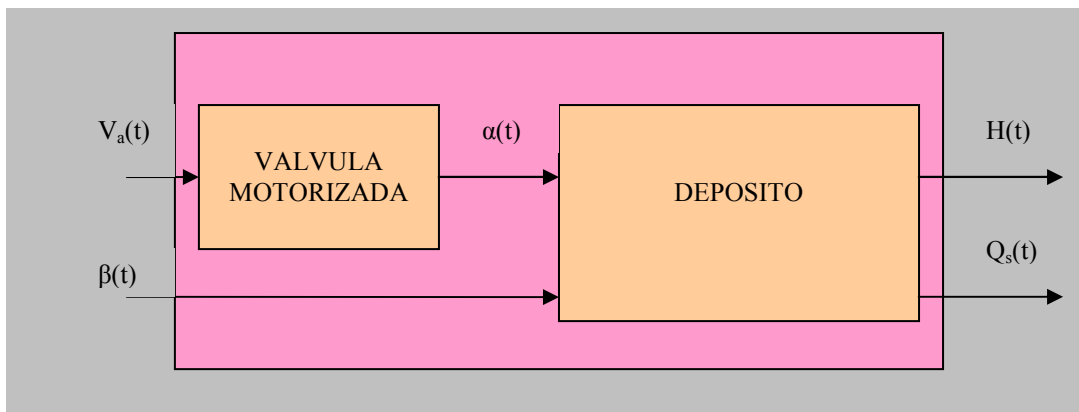
La válvula es un sistema monovariable cuya entrada es la tensión de alimentación y la salida es la sección de paso  $\alpha(t)$



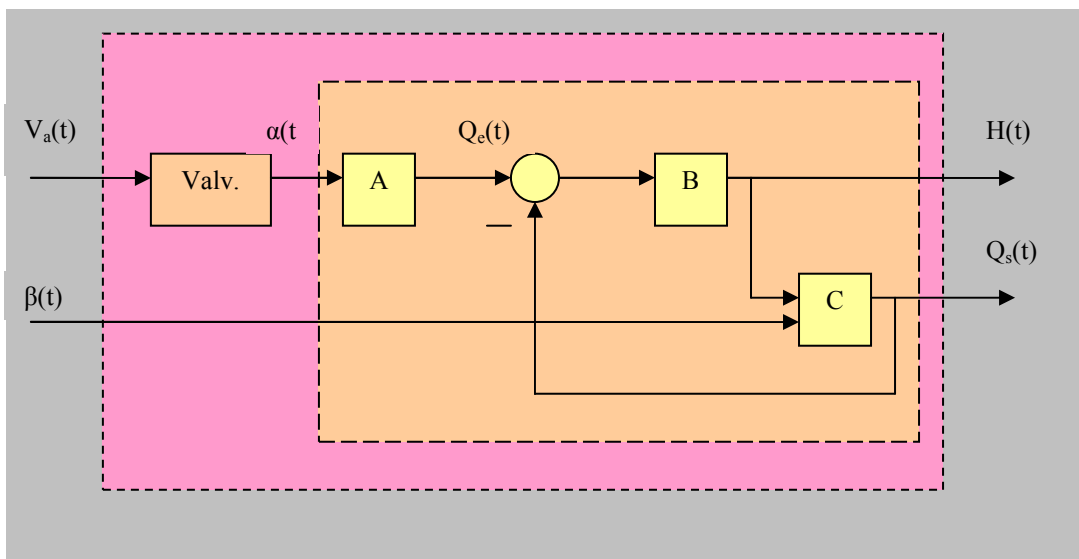
En cuanto al depósito se trata de un sistema multivariable donde las entradas son las secciones de paso de entrada y de salida respectivamente y las salidas son el nivel y el caudal de salida.



Uniendo los diagramas de ambos subsistemas se obtiene el diagrama funcional básico del sistema:



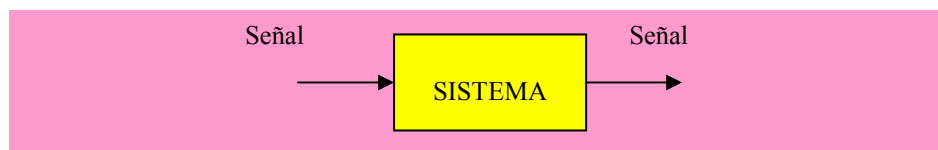
Si además analizamos el funcionamiento del subsistema depósito, es posible descomponerlo en subsistemas interrelacionados entre sí. Para ello basta considerar que el caudal de entrada es función del grado de apertura de la válvula  $\alpha(t)$ , que la diferencia entre los caudales de entrada y de salida genera las variaciones del nivel de líquido  $H(t)$  y que el caudal de salida depende del grado de apertura de la válvula de salida  $\beta(t)$  y del nivel de líquido  $H(t)$ .



Con ello se obtiene el diagrama funcional del sistema global, que en este caso consta de cuatro bloques y un sumador. El primer bloque corresponde con un sistema real, la válvula motorizada, mientras que los otros tres representan relaciones funcionales entre las respectivas variables de entrada y de salida. Este diagrama no ofrece relaciones cuantitativas entre las distintas variables que aparecen en el mismo, sólo indica las interrelaciones existentes entre ellas, señalando para cada bloque la causa (la entrada) y el efecto (la salida). Esta información es de la máxima importancia para entender el funcionamiento real del sistema y será imprescindible en la fase de diseño del sistema de control para ajustar el funcionamiento del sistema a unas especificaciones determinadas.

Una vez definido el sistema y conocidas las relaciones de causa-efecto existentes entre los distintos subsistemas del mismo, se puede plantear el objetivo del análisis dinámico del sistema que no es otro que conocer su comportamiento, esto es su respuesta ante cualquier señal de entrada. No se trata, en modo alguno, de obtener la expresión matemática de la señal de salida correspondiente a cada una de las infinitas señales de entrada posibles, sino de conocer las principales características de todas ellas. Como se verá en el capítulo siguiente, una parte de esas características están directamente relacionadas con la señal de entrada pero hay otras que son inherentes al sistema y que aparecen sea cual sea la señal de entrada aplicada. Entre estas características propias del sistema está la estabilidad, la ganancia estática y algunas características transitorias.

*Para proseguir nuestro estudio vamos a recuperar el esquema básico*



*a partir del cual se presentan dos opciones.*

*La primera opción que desarrollaremos en el siguiente capítulo, se centra en el bloque, es decir, el sistema. Requiere disponer de un cierto conocimiento del mismo, conocimiento que suele darse en términos de ecuaciones matemáticas. Estas ecuaciones matemáticas que representan el comportamiento del sistema se conocen como modelo matemático del mismo. La representación de estas ecuaciones juega un papel fundamental, tanto desde el punto de vista de su solución, como desde el punto de vista de la extracción simple de las características dinámicas del sistema.*

*La segunda opción, que veremos a partir del capítulo 4 consiste en centrarse en el estudio de las señales, buscando herramientas, matemáticas y gráficas, que nos ayuden en su representación y en su tratamiento. El objetivo es conocer la relación entre las señales de salida y de entrada, para lo que será decisivo elegir una representación de las señales que genere una relación simple de expresar y de interpretar físicamente. De alguna forma esta opción refuerza el significado de caja negra de los bloques de los diagramas funcionales, por lo que no requiere ningún conocimiento específico del sistema y permite la realización de un estudio empírico, a partir de las señales reales obtenidas en la planta o el laboratorio.*

*En los capítulos 3 y 5, dedicados al análisis del comportamiento de los sistemas, veremos que estos dos enfoques convergen, al conseguir representar un*

*sistema mediante una señal, haciendo que todas las técnicas propias de las señales puedan ser aplicadas e interpretadas en los sistemas.*

*La utilización de un lenguaje de representación de las señales y de los sistemas independiente de la realidad física de los mismos, permitirá una utilización genérica de la teoría que se desarrolle, lo que la dotará de una validez casi universal y de un carácter horizontal que la hace aplicable en cualquier campo de la ingeniería.*

