



2º de Bachillerato

Tecnología Industrial II

Contenidos

Sistemas automáticos de control: Sistemas automáticos y de control

Un sistema automático de control es un conjunto de elementos físicos relacionados entre sí, de tal forma que son capaces de gobernar su actuación por sí mismos, sin necesidad de la intervención de agentes externos (incluido el factor humano), anulando los posibles errores que puedan surgir a lo largo de su funcionamiento debido a perturbaciones no previstas.

Cualquier sistema automático está constituido por un **sistema físico** que realiza la acción (**parte actuadora**), y un **sistema de mando** (**parte controladora**), que genera las órdenes precisas para que se ejecuten las acciones.

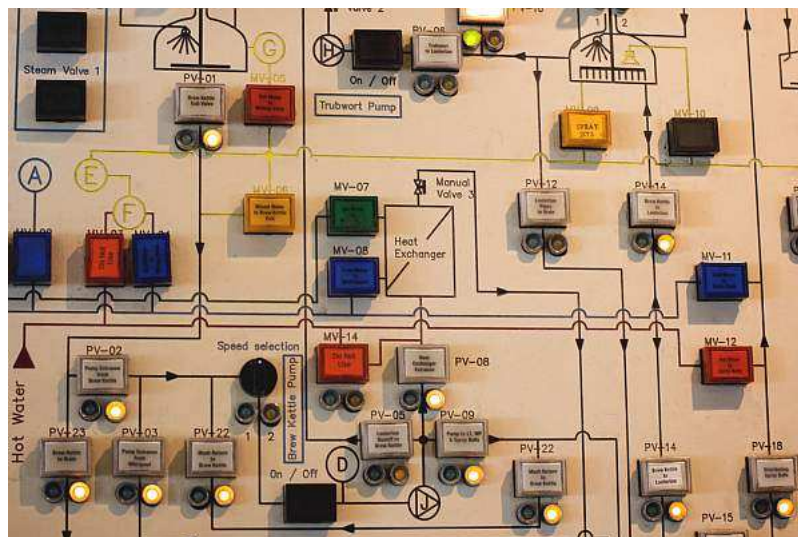


Imagen de Jeremy Brooks en [Flickr](#). Licencia [CC](#)

En los sistemas de regulación y control automáticos se sustituye el componente humano por un mecanismo, circuito eléctrico, electrónico o, un ordenador. En este caso, el sistema de control sería automático.

Un ejemplo de estos sistemas es el control de temperatura de una sala empleando un termostato. En este caso se programa una temperatura de referencia considerada confortable, cuando la temperatura de la sala sea inferior a la programada, se dará orden de producir calor, con lo que la temperatura ascenderá hasta el valor programado, cuando se alcanza esta temperatura la calefacción se desconecta

automáticamente.

Necesidad y aplicaciones de los sistemas automáticos de control

La implantación y el desarrollo de los sistemas de regulación están presentes en infinidad de sectores, en el ámbito doméstico, en los procesos industriales, en el desarrollo tecnológico y científicos, provocando avances significativos en todos los campos.

En la producción industrial su utilización permite:

- Aumentar la calidad y la cantidad del producto fabricado.
- Mejorar los sistemas de seguridad del proceso industrial.
- Ejecutar operaciones cuya realización sería impensable con la única participación del hombre.
- Reducir enormemente los costes productivos.

Dentro de los avances científicos que el uso de estos sistemas ha posibilitado tenemos un ejemplo claro en el desarrollo del campo de las misiones espaciales, que son realizadas de modo automático y en los que la presencia humana es anecdótica.

En el desarrollo tecnológico, abarca desde el control de robots, como la regulación centralizada del tráfico en un aeropuerto, sistemas de ayuda al conductor de un vehículo,...

En el ámbito doméstico, todo lo que tiene que ver con la domótica que provoca una habitabilidad más confortable.

1. Conceptos



A lo largo del tema utilizaremos una serie de conceptos que es necesario conocer:

Importante

- **Variable del sistema:** Toda magnitud física susceptible de ser sometida a vigilancia y control que define el comportamiento de un sistema (velocidad, temperatura, posición,...).
- **Entrada:** Excitación que se aplica a un sistema de control desde un elemento externo, al objeto de generar una respuesta.
- **Salida:** Respuesta proporcionada por el sistema de control al estímulo de la entrada.
- **Perturbación:** Señal no deseada que modifica adversamente de modo imprevisto el funcionamiento del sistema, pueden ser internas o externas al propio sistema.
- **Planta:** Sistema sobre el que deseamos realizar el control.
- **Sistema:** Conjunto de dispositivos que actúan interrelacionados para realizar el control. Los sistemas de control reciben la información facilitada por los sensores y, tras ser procesada, se utiliza para controlar los actuadores.
- **Entrada de mando:** Señal externa al sistema que condiciona su funcionamiento.
- **Señal de referencia:** Señal de entrada que utilizamos para calibrar al sistema.
- **Señal de error:** Señal obtenida en la salida del comparador entre la señal de referencia y la señal realimentada.
- **Señal activa:** cuando la señal de error resultante del comparador está muy atenuada, es necesario amplificarla para convertirla en una señal capaz de activar los distintos componentes del sistema.
- **Unidad de control:** Controla la salida en función de una señal activa.
- **Unidad de realimentación:** Conjunto de dispositivos que captan la variable controlada, la acondicionan y llevan al comparador.
- **Transductor:** Elemento que transforma una magnitud física en otra interpretable por el sistema.

Dependiendo de la naturaleza de los procesos, los sistemas de control pueden ser:

● **Sistemas naturales:** Por ejemplo el control de la temperatura del cuerpo humano, por medio de la transpiración. La entrada del sistema es la temperatura habitual de la piel, y la salida, su temperatura actual. Si existe una señal de error, se pone en funcionamiento el proceso de activar la sudoración para que, por evaporación, se produzca un enfriamiento de la piel, cuando comienza a descender la temperatura la señal de error se atenúa lo que provoca la disminución de la secreción de sudor.

● **Sistemas realizados por el hombre:** Por ejemplo el control de la temperatura de una habitación por medio de un



Imagen en [INTEF](#). Licencia [CC](#)


termostato. La entrada del sistema es la temperatura de referencia considerada confortable, que se introduce en el termostato (comparador), la salida del sistema es la temperatura de una habitación. Si en la salida del comparador se tiene una señal de error, ésta activará los dispositivos pertinentes para poner en funcionamiento los medios adecuados para corregir ese error, que continuarán actuando mientras persista la señal de error.

● **Sistemas mixtos:** Es el caso del control de la dirección de un automóvil. La entrada sería la dirección de la carretera, y la salida la dirección del automóvil. Por medio del cerebro, los ojos, las manos....., y también el vehículo, el conductor gobierna y corrige la salida para ajustarla a la entrada.

Comprueba lo aprendido

Selecciona la opción correcta en cada uno de los casos:

La señal que se utiliza como referencia para calibrar el sistema se llama señal de calibración

 **Sugerencia**

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

Señal de referencia

El sudor es un sistema de control realizado por el hombre

 **Sugerencia**

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

Es natural

Los elementos que toman el valor de una magnitud y lo transforman en un nuevo valor de una nueva magnitud, proporcional al primer valor se llaman transductores

 **Sugerencia**

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Estamos fijando la entrada de mando.

Cuando fijamos la temperatura de la calefacción de nuestra casa a través del termostato, estamos introduciendo en el sistema la señal activa.

 **Sugerencia**

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

2. Tipos de señales



La comprensión de los sistema de control hace necesaria la introducción de una nueva definición, el cocepto de **señal**:

Importante

Señal: Variación en el tiempo de una magnitud física, que permite transmitir información.

Las señales pueden ser de dos tipos:

- **Analógicas:** Pueden adquirir infinitos valores (el conjunto de números reales) en cualquier intervalo continuo de tiempo. La variación de la señal constituye una gráfica continua.
- **Digitales:** Pueden adquirir únicamente valores concretos, es decir, no varían a lo largo de un cierto intervalo de tiempo. La variación de la señal constituye una gráfica discontinua Por ejemplo, el estado de un interruptor sólo puede tener dos valores (0 abierto, 1 cerrado) y en general pueden estar representadas por cualquier elemento dual: encendido/apagado, conduce/no conduce, conectado/desconectado, nivel alto/nivel bajo...

A cada valor de una señal digital se le llama **bit** resultando ser esta la unidad mínima de información.

Cualquier sistema de regulación y control basado en un microprocesador va a ser incapaz de interpretar señales analógicas, ya que sólo utiliza señales digitales.

Esto hace que sea necesario necesario traducir, o transformar en señales binarias las señales analógicas.

Este proceso recibe el nombre de **digitalización** o **conversión** de señales analógicas a digitales y se realiza a través de sistemas llamados conversores Analógicos Digitales (ADC Analog-to-Digital Converter).

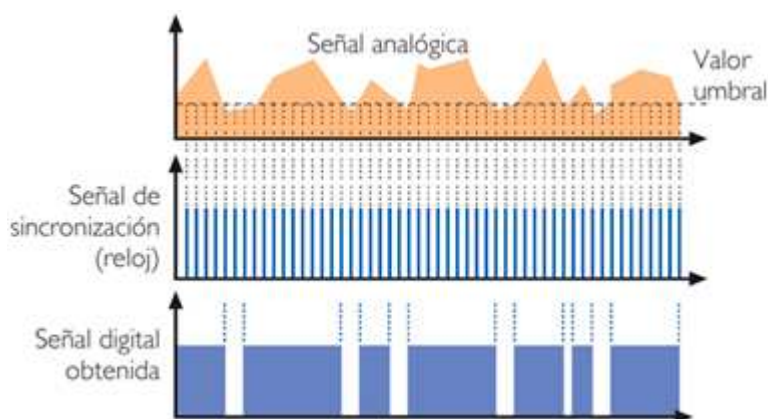


Imagen de elaboración propia

Importante

Sistema que lleva a cabo el proceso de conversión de una señal analógica en digital. El objeto de este procedimiento es por un lado facilitar el procesamiento de las señales y por otro hacerlas más inmunes a las interferencias.

Para realizar esta función, el conversor ADC tiene que ejecutar los siguientes procesos:

1. **Muestreo** de la señal analógica.
2. **Cuantización** de la propia señal.
3. **Codificación** del resultado en código binario.

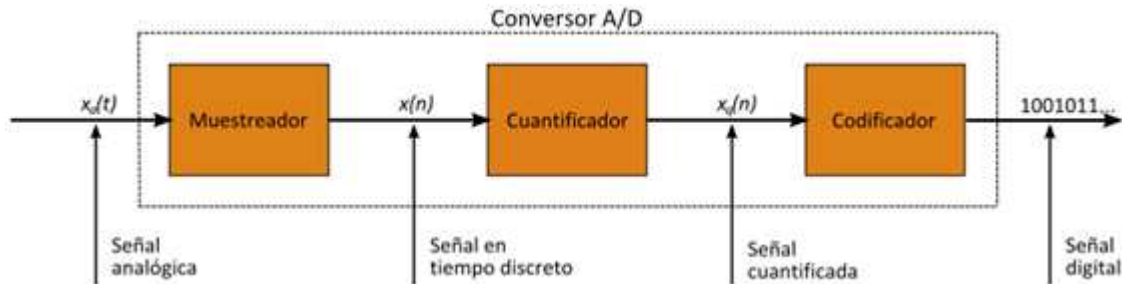


Imagen de elaboración propia

Muestreo, (sampling)

Consiste en tomar diferentes muestras del valor de la señal (tensión, presión,...), la frecuencia con que se realiza el muestreo, se denomina razón o tasa, cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo, más fidelidad tendrá la señal digital obtenida.

En el proceso de muestreo se asignan valores numéricos que equivalen al valor de la señal en distintos instantes de tiempo, para así poder realizar a posteriori el proceso de cuantización.

Cuantización, (quantization)

Los valores continuos de la señal se convierten en valores discretos que corresponden a los diferentes niveles de valor (voltaje) que contiene la señal analógica original, lo que permite medirlos y asignarles sus correspondientes valores en el sistema numérico decimal, antes de ser convertidos al sistema binario.

Codificación

Los valores así obtenidos de la señal, son representados por códigos previamente establecidos, por lo general la señal digital es codificada en cualquiera de los distintos códigos binarios.

Así pues los conversores A/D y D/A, son circuitos electrónicos, cuyo objetivo es convertir una señal de entrada analógica en su versión digital, utilizando para ello valores discretos en el tiempo.

Existe un gran número de circuitos conversores A/D y D/A, que han ido surgiendo para subsanar deficiencias de conversores anteriores.

Curiosidad

pasos para convertir una señal eléctrica (tensión) analógica en otra digital codificada en binario natural (BCN).



Ventajas de la señal digital

La utilización de señales digitales frente a las analógicas ofrece múltiples ventajas. Entre ellas podemos destacar:

- Si una señal digital sufre perturbaciones leves, se puede reconstruir y amplificar por medio de un sistema regenerador de señales.
- Existen códigos binarios que son capaces de detectar e incluso corregir si se ha producido algún error en la captación y transmisión de información digitalizada.
- Facilitan enormemente el proceso de procesamiento de las señales.
- Puede ser reproducida un elevado número de veces (infinitas veces) sin perder calidad en el proceso.
- Existe la posibilidad de aplicar técnicas de compresión de datos, sin pérdida de información de modo mucho más eficiente que con las señales analógicas.

El único inconveniente que supone su utilización se encuentra en el hecho de que se hace necesaria la utilización de un conversor A/D previa y una decodificación posterior en el momento de la recepción de la señal.

3. Diagramas de bloques

Los sistemas de control van a estar formados por un conjunto de elementos interrelacionados, capaces de realizar una operación predeterminada.

La representación de estos sistemas se realiza por medio de los llamados diagramas de bloques. Los diagramas de bloques están formados por cajas (cajas negras), que contienen el nombre, la descripción del elemento o la operación matemática que se ejecuta sobre la entrada para obtener la salida.

Este sistema ofrece una representación simplificada de las relaciones entre la entrada y la salida de los sistemas físicos.

El diagrama de bloques más sencillo es el **bloque simple**, que consta de una sola entrada y de una sola salida.

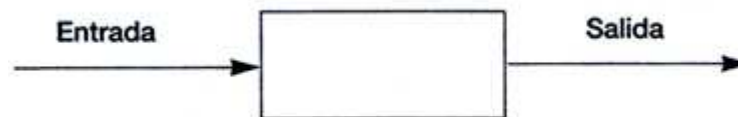


Imagen de elaboración propia

Cada bloque es una representación gráfica de la relación causa-efecto existente entre la entrada y la salida de un sistema físico.

La relación entre los distintos bloques que constituyen un sistema se representa mediante flechas que indican el sentido de flujo de la información.

Estos diagramas permiten efectuar operaciones de adición y de sustracción, representadas mediante un círculo, cuya salida es la suma algebraica de las entradas teniendo en cuenta sus signos correspondientes. La relación entre la salida y la entrada es la representada en la figura:

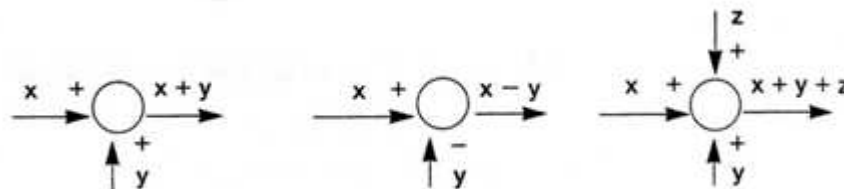


Imagen de elaboración propia

De forma similar es posible indicar la amplificación de una señal:

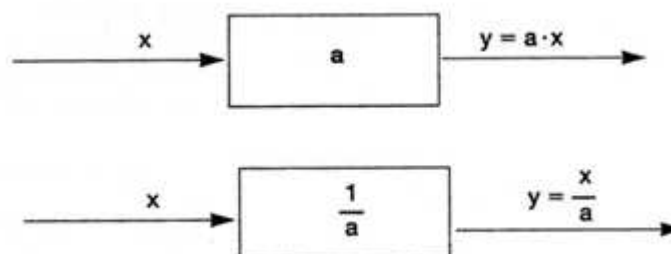


Imagen de elaboración propia

Ejercicio resuelto

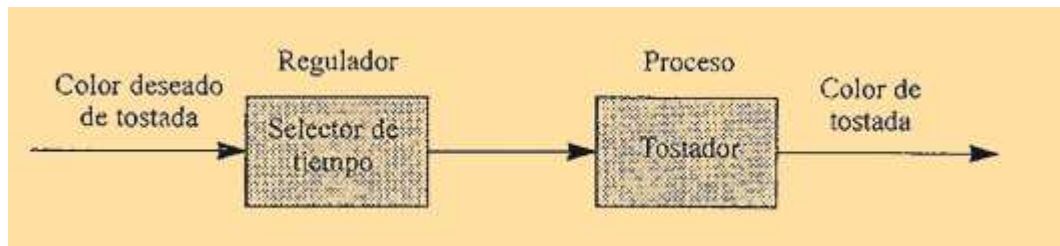
Explicar como funciona un tostador de pan desde el punto de vista de su sistema de control, y dibujar su diagrama de bloques.

Mostrar retroalimentación

Es un sistema en bucle abierto, controlado por medio de un elemento que controla el tiempo de funcionamiento. Es posible modificar la cantidad de calor aportada por una resistencia eléctrica, según se va actuando sobre una ruleta selectora que varía el tiempo de funcionamiento del elemento de caldeo.

El individuo que realiza la acción selecciona la posición del selector, según su deseo o experiencia.

Estos sistemas en lazo abierto no son capaces de adaptarse a las posibles modificaciones de las condiciones del proceso, ni a las posibles perturbaciones externas que se puedan presentar.



4. Tipos de sistemas de control

Los sistemas de regulación y control se clasifican en dos tipos:

- **Sistemas de control en lazo abierto.**
- **Sistemas de control en lazo cerrado.**

Veamos cada uno de ellos por separado:

Importante

Sistema de control en lazo o bucle abierto:

En ellos la señal de salida no influye sobre la señal de entrada.

La exactitud de estos sistemas depende de su programación previa. Es preciso se prever las relaciones que deben darse entre los diferentes componentes del sistema, a fin de tratar de conseguir que la salida alcance el valor deseado con la exactitud prevista.

El diagrama de bloque de un sistema en lazo abierto es:



Imagen de elaboración propia

Estos sistemas se controlan directamente, o por medio de un **transductor** y un **actuador**. En este segundo caso el diagrama de bloques típico será:

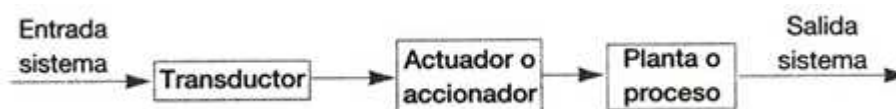


Imagen de elaboración propia

La función del **transductor** es modificar o adaptar la señal de entrada, para que pueda ser procesada convenientemente por los elementos que constituyen el sistema de control.

Un ejemplo de este tipo de sistemas es el proceso de lavado realizado por una lavadora automática. La señal de salida (blancura de la ropa) no influye en la entrada. La temperatura del agua, si incluye proceso de prelavado y lavado tienen una trascendencia importante, si está bien programada, cada proceso tendrá la duración adecuada para conseguir alcanzar el objetivo final, que será obtener la limpieza prevista.

Otro ejemplo de sistema en lazo abierto sería el alumbrado público controlado por interruptor horario. El encendido o apagado no depende de la luz presente, sino de los tiempos prefijados de antemano por el interruptor horario.



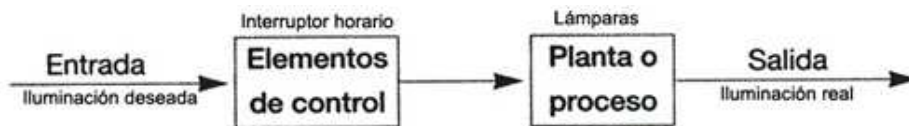


Imagen de elaboración propia

Imagen en [Wikimedia](#).

[Dominio público](#)

Una característica importante de los sistemas de lazo abierto es que dependen de la variable tiempo y la salida es independiente de la entrada.

Los sistemas en bucle abierto tienen el inconveniente de ser muy sensibles a las perturbaciones. Así por ejemplo en una sala cuya temperatura se controle mediante un sistema en lazo abierto, si circunstancialmente se quedase una ventana abierta (perturbación), el sistema no sería capaz de adaptarse a esta nueva situación y no se alcanzaría la temperatura deseada.

Importante

Sistemas de control en lazo cerrado:

En ellos, la señal de salida influye en la entrada. Esto se consigue mediante un proceso de realimentación (feedback).

La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida (o cualquier otra variable controlada) es comparada con la entrada del sistema, de forma que el proceso de control depende de ambas.

En estos sistemas un transductor mide en cada instante el valor de la señal de salida y proporciona un valor proporcional a dicha señal.

Este valor relacionado con la señal de salida, se realimenta al sistema, de forma que ésta influye directamente sobre el proceso de control.

El diagrama de bloques correspondiente a un sistema de control en lazo cerrado es:



Imagen de elaboración propia

En él, la salida es realimentada hacia la entrada; ambas se comparan, y la diferencia que existe entre la entrada, que es la señal de referencia o consigna (señal de mando), y el valor de la salida (señal realimentada) es la señal de error.

Si la señal de error fuese nula, entonces la salida tendría exactamente el valor previsto.

De no ser nula, ésta ataca al controlador o regulador, donde es convenientemente amplificada si fuera necesario, convirtiéndose en la señal activa, capaz de activar al actuador, para que la salida alcance el valor previsto.

La señal de error, o diferencia entre los valores de la entrada y de la salida, actúa sobre los elementos de control tratando de reducir el error a cero y llevar la salida a su valor correcto. Se intenta que el

sistema siga siempre a la señal de consigna.

Un ejemplo de este tipo de control sería el sistema de control de temperatura de una habitación. El transductor sería un dial con el que seleccionamos el grado de calentamiento deseado, el actuador será una caldera y el captador sería un termómetro. Éste último actúa como sensor midiendo la temperatura de la habitación, para que pueda ser comparada con la de referencia, si la temperatura no fuese directamente comparable, por medio de un transductor se convertiría en otra magnitud más manipulable.

El controlador es el componente que determina el comportamiento sistema, por lo que se debe diseñar con gran precisión. Es el cerebro del bucle de control.

Mientras que la variable controlada tenga el valor previsto, el regulador no actuará sobre el actuador, en el momento que la variable de salida se aleja del prefijado, surge la señal de error, que ataca al regulador modificando su señal, ordenando al actuador que actúe sobre la planta o proceso, en el sentido de anular la señal de error, un termostato realizaría esta función.

Los sistemas en lazo cerrado son prácticamente insensibles a las perturbaciones, ya que cualquier modificación de las condiciones del sistema que afecten a la salida, serán inmediatamente rectificadas por efecto de la realimentación, con lo que las perturbaciones se compensan, y la salida resulta independiente de éstas.

Los sistemas en lazo cerrado presentan las siguientes **ventajas** frente a los de lazo abierto.

- Más exactos en la obtención de los valores requeridos para la variable controlada.
- Menos sensibles a las perturbaciones.
- Menos sensibles a cambios en las características de los componentes.

Aunque tienen las siguientes **desventajas**:

- Son significativamente más inestables.
- Son más caros.
- Al ser más complejos son más propensos a tener averías, y presentan mayor dificultad en su mantenimiento.

Ejercicio resuelto

Identificar cada uno de los distintos elementos que constituyen un sistema de control en bucle cerrado, que forman el sistema físico que resulta cuando una persona trata de coger un objeto. Dibujar el diagrama de bloques correspondiente. Identifica cada uno de los bloques del sistema y explicar los elementos que lo constituyen.

Mostrar retroalimentación

El diagrama de bloques será:



La señal de entrada será la posición del objeto.

La señal de salida es la posición de la mano.

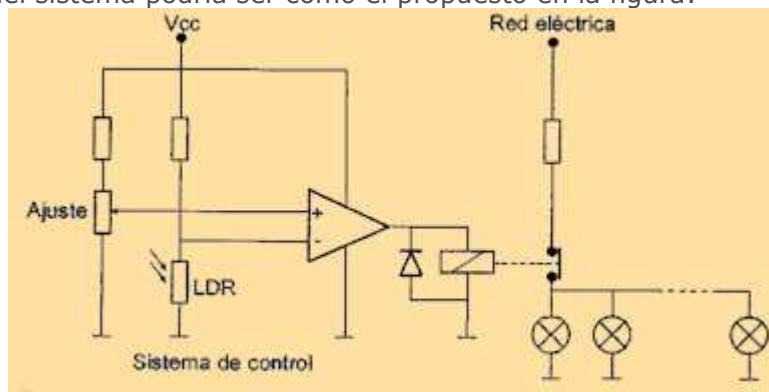
El detector de la señal de salida serán los ojos, que continuamente toman datos de la posición de la mano y la transmiten al cerebro, que actúa de comparador y controlador, emite una señal de error y da órdenes a los actuadores, brazos y manos para que se redirijan hacia la posición del objeto y lo cojan.

Proponga un sistema de regulación que de forma automática encienda y apague el alumbrado público en función de la iluminación existente. Dibujar el diagrama de bloques del sistema explicando la función de los elementos que lo constituyen.

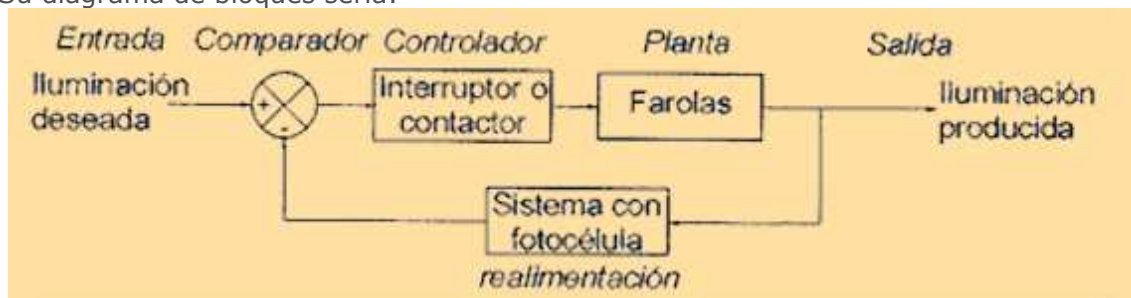
Explicar si se trata de un control en lazo abierto o cerrado.

Mostrar retroalimentación

El esquema del sistema podría ser como el propuesto en la figura:



Su diagrama de bloques sería:



- La señal de entrada será el valor de consigna del nivel de iluminación al que queremos que entre en funcionamiento el sistema de alumbrado, y que seleccionaremos mediante un potenciómetro que podremos regular, para poder

- El sensor que capta el nivel de iluminación será una resistencia especial LDR, que modifica el valor de resistencia en función de la incidencia de luz sobre ella. Ambas señales las llevaremos a un amplificador operacional (AO), en el que comparamos las señales en sus entradas, si es mayor la señal de referencia ofrecerá una señal de error que convenientemente amplificada, por un transistor, o como en este caso por un relé o contactor, actuará sobre el encendido del alumbrado público.

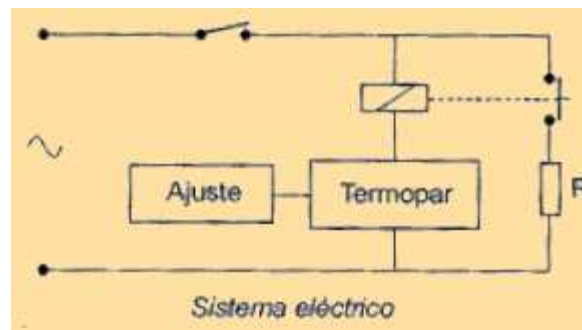
Se trata de un sistema de control en bucle cerrado, ya que continuamente está comparando la iluminación ambiental con la señal de consigna.

Indica el montaje eléctrico que realizaría para gobernar la temperatura de un horno, de forma que en condiciones de trabajo debe estar a 200°C, manteniendo este valor con una precisión de +10°C.

Dibuja el diagrama de bloques correspondiente a este sistema.

Mostrar retroalimentación

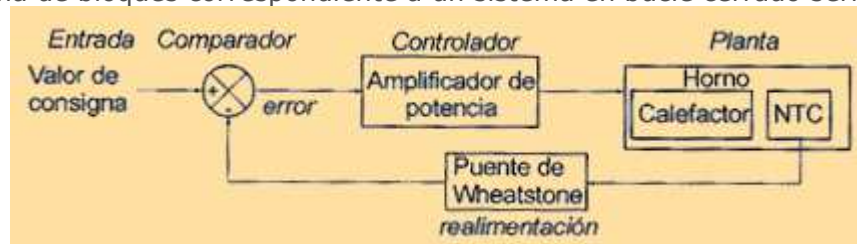
El sistema podría ser como el representado en la figura, como solicitan un circuito eléctrico utilizaremos como elemento de caldeo una resistencia eléctrica.



Se utiliza como transductor un puente de Wheastone, en la que una de las resistencias fuese una NTC, y la señal que tuviese la salida del puente se emplea como realimentación del sistema.

El valor de la señal de consigna se fijaría con un potenciómetro, alimentado con c.c.

El diagrama de bloques correspondiente a un sistema en bucle cerrado sería:



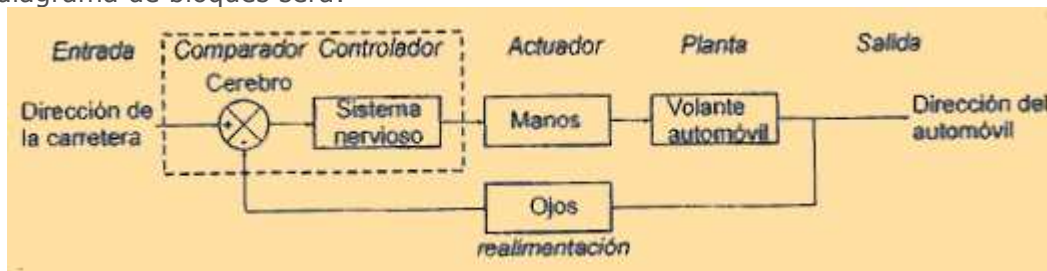
El elemento comparador podría ser un amplificador operacional en cuya salida tendríamos la señal de error entre el valor de consigna y la señal controlada, que más tarde sería amplificada por un transistor o mejor un relé, que harían entrar en actuación a las resistencias calefactoras.

Describe los componentes principales del sistema de control constituido por el conductor de un vehículo. Explica suficientemente su funcionamiento. Dibuja su diagrama de bloques. Indica alguna causa que puede convertir este sistema en un control en bucle abierto.

- Señal de consigna, dirección de la carretera.
- Captador, serán los ojos que continuamente están tomando muestra de la dirección en que se circula y mandan esa información al comparador una vez traducida a señales nerviosas.
- Comparador, el cerebro compara las direcciones deseada y real y si detecta error manda órdenes a la planta o proceso para que corrijan éste y modifiquen la dirección del automóvil adaptándola a la requerida.
- Señal de salida, dirección en que circula el automóvil.
- Controlador, el cerebro de la persona.
- Actuador o planta, las manos de la persona que actúan sobre el volante y los pies a que actúan sobre los pedales.

El conductor desea que el vehículo no se salga de la carretera, por lo que continuamente observa con los ojos la posición, transmitiendo esta información al cerebro que la compara con la señal de consigna y en caso de producirse un error manda a los elementos de la planta que rectifiquen este error, para lo que las manos modifican la posición del automóvil actuando sobre el volante y los pies sobre los pedales de acelerador, freno y embrague, si se precisa cambiar de marcha o detener el vehículo.

El diagrama de bloques será:



Para que el sistema se convirtiera en un proceso de control en lazo abierto, debería desaparecer la realimentación, lo que ocurriría si los ojos dejasen de cumplir su función, por una distracción mirando en otra dirección, o por haberse dormido el conductor.

5. Función de transferencia



En ocasiones para conocer la respuesta de un sistema en función del tiempo, se aplican en la entrada del elemento señales conocidas y se evalúan la respuesta que aparece en su salida. De este modo se obtiene la llamada respuesta transitoria. En general se introduce por la entrada del sistema una señal en forma de escalón.

Sin embargo es mucho más operativo estudiar matemáticamente la respuesta del sistema mediante la llamada función de transferencia.

Por medio de la función de transferencia se puede conocer:

- La respuesta del sistema ante una señal de entrada determinada.
- La estabilidad del sistema (si la respuesta del sistema se va a mantener dentro de unos límites determinados).
- Qué parámetros se pueden aplicar al sistema para que éste permanezca estable.

Importante

Se define **función de transferencia $G(s)$** de un sistema como el cociente entre la transformada de Laplace de la señal de salida y la transformada de Laplace de señal de entrada, suponiendo las condiciones iniciales nulas.

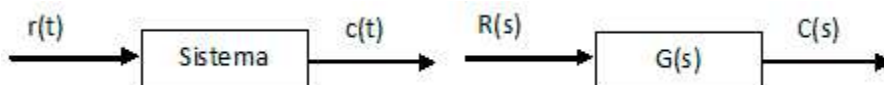


Imagen de elaboración propia

Matemáticamente se representará:

$$G(s) = \frac{Lc(t)}{Lr(t)} = \frac{C(s)}{R(s)}$$

Características de la función de transferencia:

La función de transferencia es una propiedad del sistema y depende de las propiedades físicas de los componentes del sistema, es por tanto independiente de las entradas aplicadas.

- La función de transferencia viene dada como el cociente de dos polinomios en la variable compleja s de Laplace, uno, $N(s)$ (numerador) y otro $D(s)$ (denominador).
- El grado del denominador de la función de transferencia es el orden del sistema.
- El polinomio del denominador, $D(s)$, se llama ecuación característica del sistema.
- Distintos sistemas pueden compartir la misma función de transferencia, por lo que ésta no proporciona información acerca de la estructura interna del mismo.
- Conocida la función de transferencia de un sistema se puede estudiar la salida del mismo para distintos tipos de entradas. La función de transferencia es muy útil para, una vez calculada la transformada de Laplace de la entrada, conocer de forma inmediata la transformada de Laplace de la salida. Calculando la transformada inversa se obtiene la respuesta en el tiempo del sistema ante esa entrada determinada.
- El polinomio del denominador de la función de transferencia, $D(s)$, se llama función característica, ya que determina, por medio de los valores de sus coeficientes, las características físicas de los elementos que componen el sistema.

- La función característica igualada a cero se conoce como ecuación característica del sistema:

$$a_n \cdot s^n + a_{n-1} \cdot s^{n-1} + a_{n-2} \cdot s^{n-2} + \dots a_1 \cdot s + a_0 = 0$$

Las raíces de la ecuación característica se denominan polos del sistema. Las raíces del numerador $N(s)$ reciben el nombre de ceros del sistema.

6. Operaciones básicas con diagramas de bloques



Tal y como hemos explicado anteriormente, cualquier sistema de regulación y control puede representarse por medio de un diagrama de bloques. En él se reproducirá la forma en la que están relacionadas las salidas en función de las entradas de todos los elementos que constituyen el sistema.

De cara a facilitar la comprensión de los procesos de control, es muy conveniente realizar la simplificación y reducción de estos diagramas.

En este apartado estudiaremos una serie de pautas de actuación para operar con estos diagramas de bloques y conseguir simplificarlos y reducirlos a otros equivalentes más operativos y más sencillos de manejar.

Comparadores o detectores de error

Son sumadores, se representan como se indica en la figura, realizan la función de efectuar sumas algebraicas, respetando el signo de las variables que entran en ellos.

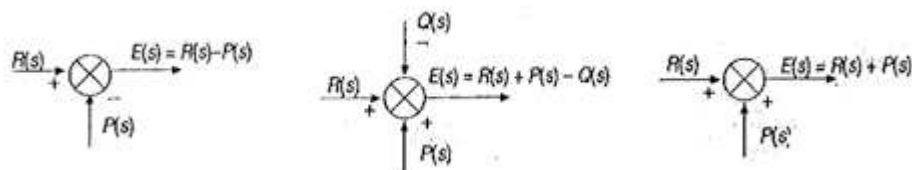


Imagen de elaboración propia

Combinación entre líneas de actuación

La interacción entre los distintos tipos de bloques se representa mediante líneas de actuación en las que las flechas indican el sentido del flujo de información.

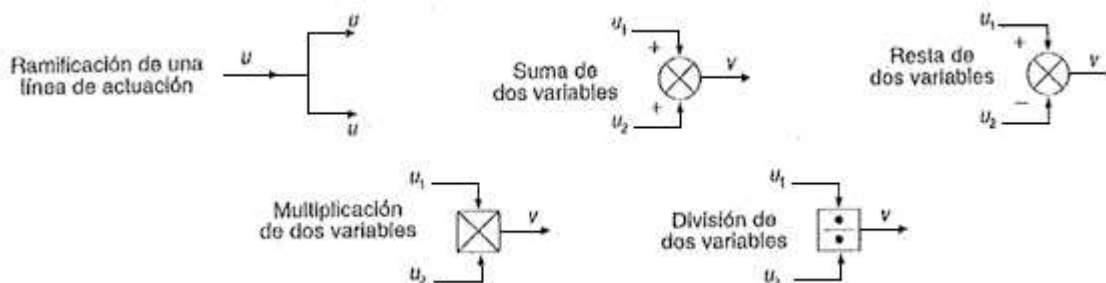


Imagen de elaboración propia

Partiendo de estos conceptos básicos es posible realizar las siguientes **combinaciones básicas de bloques**:

● Conexión serie

En este tipo de conexión la salida de un bloque constituye la entrada del siguiente:

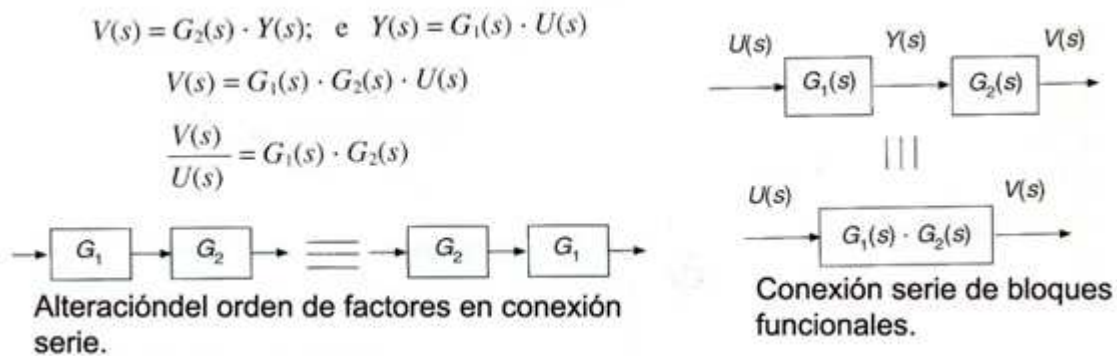


Imagen de elaboración propia

● Conexión paralelo

Según se representa en la figura, en este caso se debe disponer de un sumador en la salida:

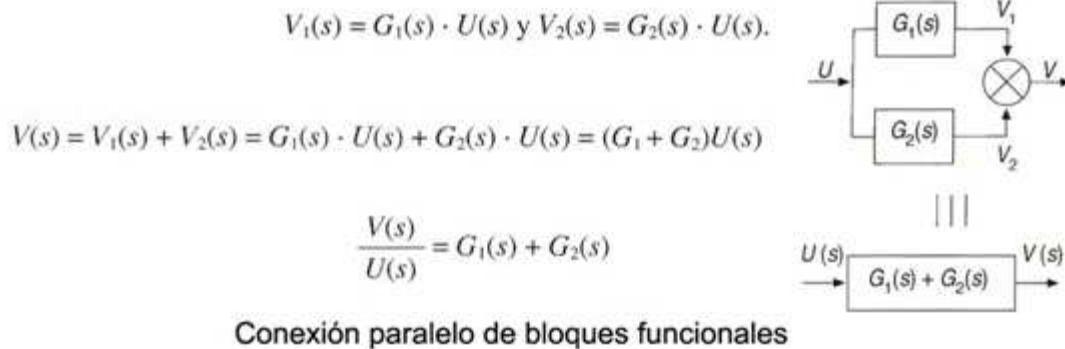


Imagen de elaboración propia

● Conexión en anillo con realimentación directa:

Corresponde a un diagrama como el representado en la figura.

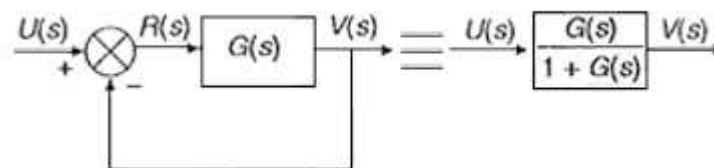


Imagen de elaboración propia

En el comparador tenemos:

$$R(s) = U(s) - V(s)$$

Por otro lado en el bloque;

$$V(s) = G(s) \cdot R(s)$$

Sustituyendo R(s) queda:

$$V(s) = G(s) [U(s) - V(s)]$$

$$V(s) = G(s) \cdot U(s) - G(s) \cdot V(s)$$

$$V(s) + G(s) \cdot V(s) = G(s) \cdot U(s)$$

$$V(s) [1 + G(s)] = G(s) \cdot U(s)$$

Y así obtenemos la expresión:

$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)}$$

● Conexión en anillo con realimentación a través de un segundo elemento:

Cuando en el bucle de realimentación existe un bloque, como el representado en la figura. El controlador derivativo se opone a desviaciones de la señal de entrada, con una respuesta que es proporcional a la rapidez con que se producen éstas.

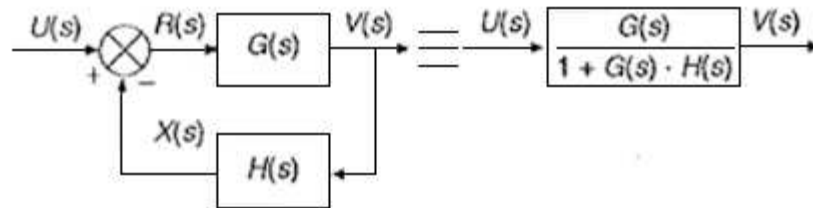


Imagen de elaboración propia

Donde las funciones de cada elemento son:

$R(s) = U(s) - X(s)$	$X(s) = H(s) \cdot V(s)$	$V(s) = G(s) \cdot R(s)$
----------------------	--------------------------	--------------------------

Primero sustituimos en R(s):

$$V(s) = G(s) [U(s) - X(s)] = G(s) \cdot U(s) - G(s) \cdot X(s)$$

Luego cambiamos X(s) por su valor y nos queda:

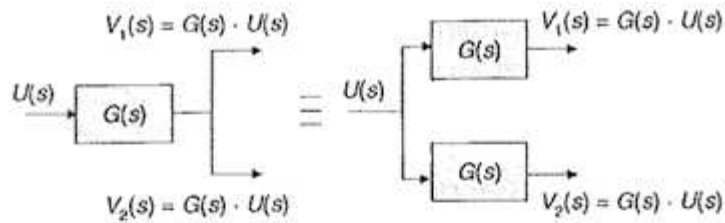
$$V(s) = G(s) \cdot U(s) - G(s) \cdot H(s) \cdot V(s)$$

Agrupando y despejando obtenemos la función de transferencia:

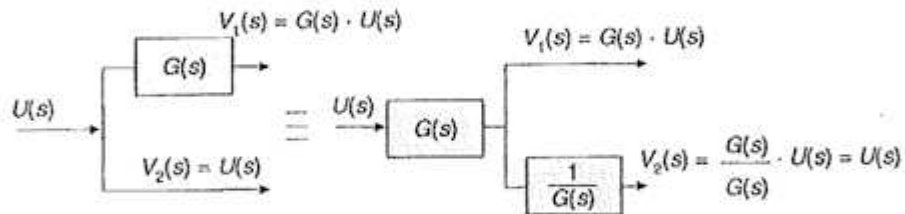
$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{G(s)}{1 + H(s) \cdot G(s)}$$

● Transposición de ramificaciones y nudos:

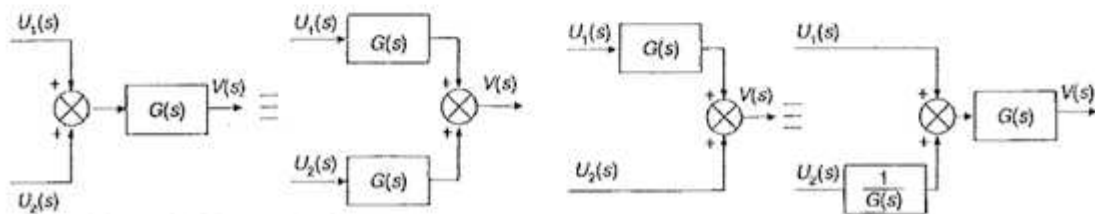
Se recurre a estas técnicas de transposición para facilitar la reducción y simplificación de diagramas de bloques. A continuación se muestran los casos más importantes:



Transposición de un punto de bifurcación



Transposición de un punto de bifurcación



Transposición de un punto de suma

Transposición de un punto de suma

Imagen de elaboración propia

7. Ejemplos de simplificación de diagramas de bloques



En este apartado y a modo de ejemplo vamos a realizar la simplificación de dos tipos de modelos de diagramas de bloques. En primer lugar estudiaremos un caso en el que hay lazos pero no se producen cruces entre ellos, en el segundo caso veremos un tipo más complejo en el cual uno de los lazos se cruza con otro.

● Lazos sin cruces:

El diagrama de bloques en este caso será del tipo:

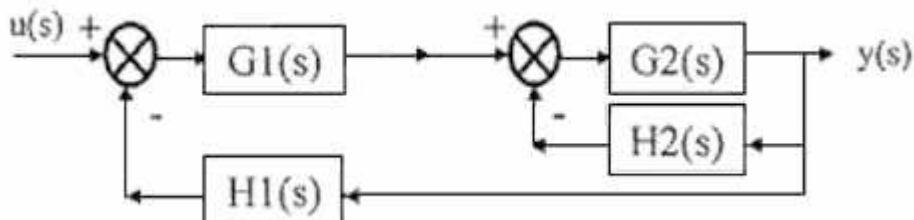


Imagen de elaboración propia

Se resuelven en primer lugar los lazos más internos, teniendo en cuenta las pautas estudiadas anteriormente:

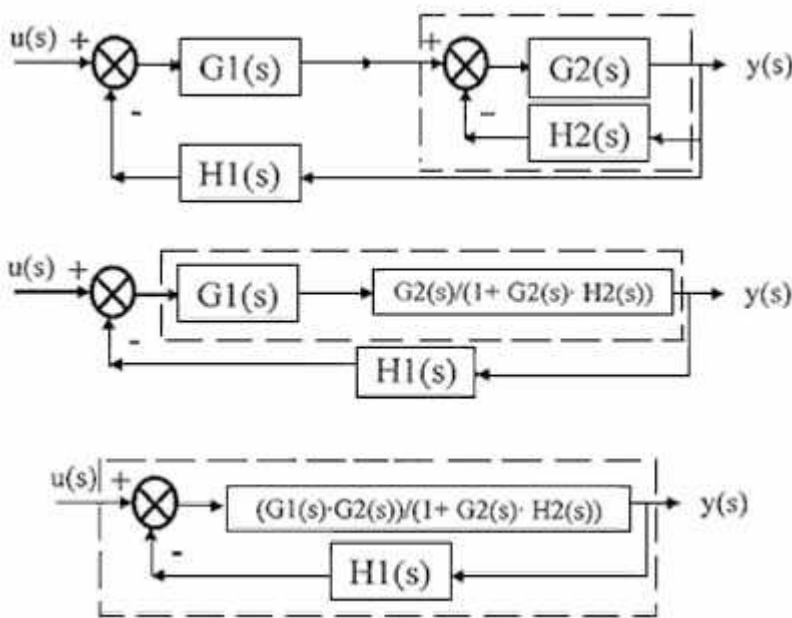


Imagen de elaboración propia

Con lo que se obtiene como función de transferencia total:

$$y(s) = \frac{\frac{G1(s) \cdot G2(s)}{1 + G2(s) \cdot H2(s)}}{1 + H1(s) \cdot \frac{G1(s) \cdot G2(s)}{1 + G2(s) \cdot H2(s)}} u(s) \Rightarrow \boxed{y(s) = \frac{G1(s) \cdot G2(s)}{1 + G2(s) \cdot H2(s) + G2(s) \cdot H1(s) \cdot H2(s)} u(s)}$$

● Lazos que se cruzan:

El diagrama de bloques en este caso será:

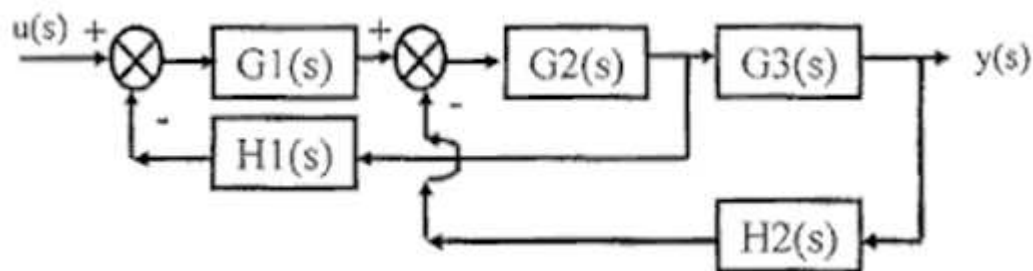


Imagen de elaboración propia

En primer lugar se deshacen los cruces aplicando la transposición de bifurcaciones y nudos, y a continuación se continúa simplificando como en el caso anterior:

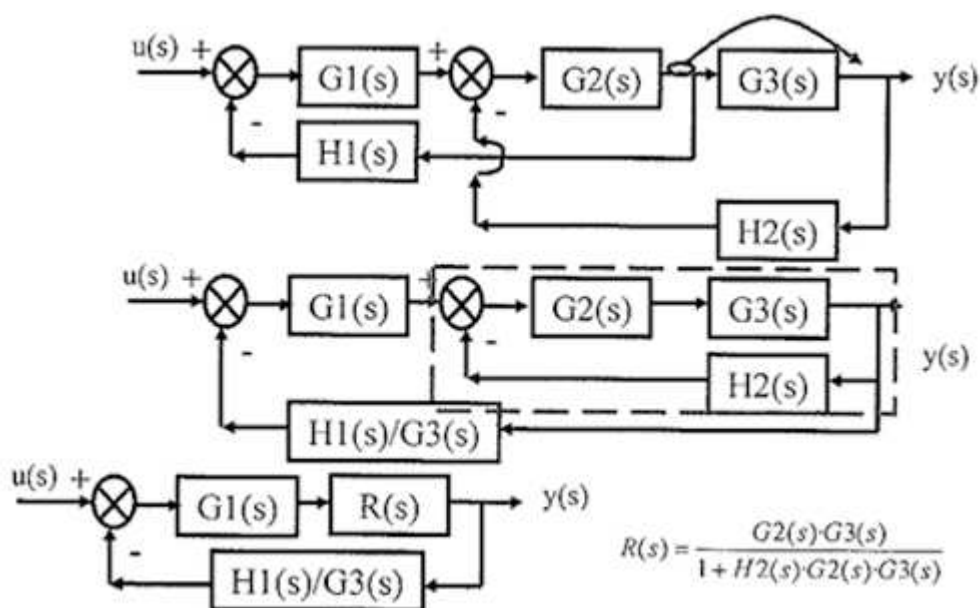


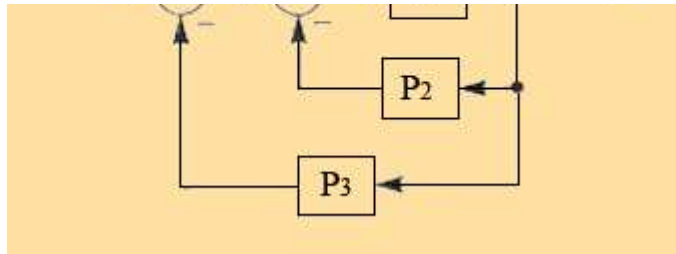
Imagen de elaboración propia

Con lo que se obtiene como función de transferencia total:

$$y(s) = \frac{G1(s) \cdot G2(s) \cdot G3(s)}{1 + H2(s) \cdot G2(s) \cdot G3(s) + H1(s) \cdot G1(s) \cdot G2(s)} u(s)$$

Ejercicio resuelto

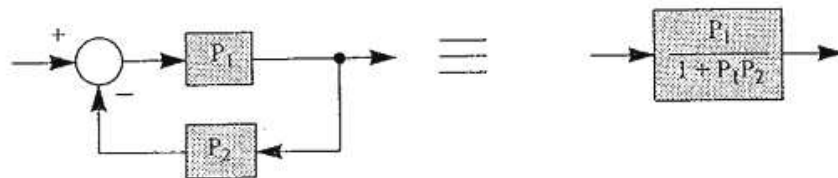
A partir del diagrama de bloques correspondiente a un sistema de regulación representado en la figura, determinar su función de transferencia global, simplificando su diagrama.



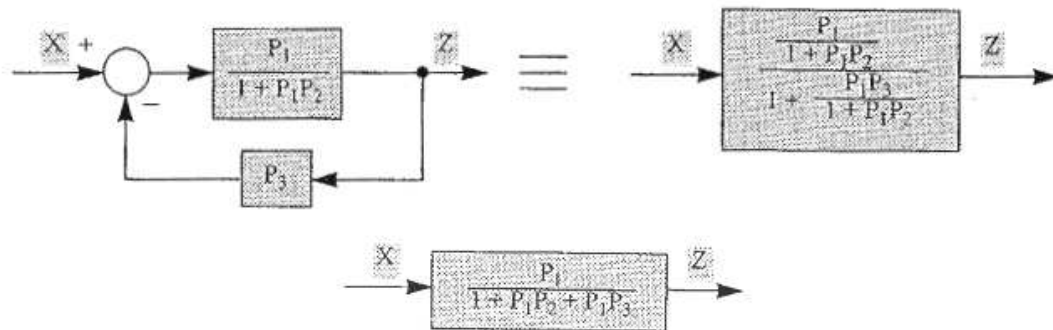
Mostrar retroalimentación

Vamos aplicando la técnica que hemos aprendido en el apartado anterior, dando pasos sucesivos, desde la zona más interna de diagrama hacia fuera:

Primero una realimentación.

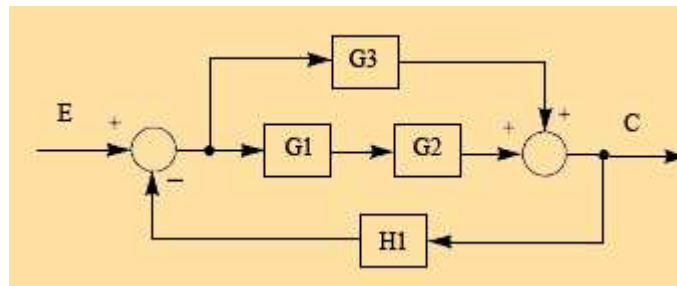


Una realimentación.



Con lo que la función de transferencia total resulta:

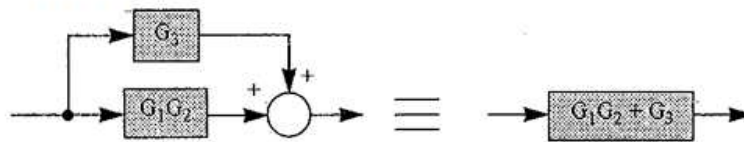
$$M(s) = \frac{Z}{X} = \frac{P_1}{1 + P_1 P_2 + P_1 P_3}$$



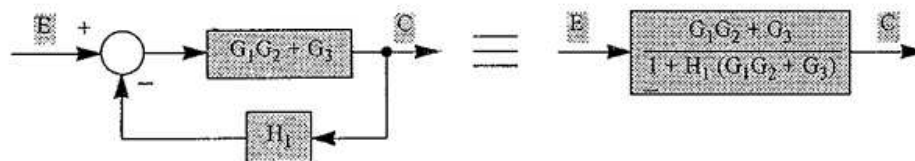
Mostrar retroalimentación

Solución:

En primer lugar se resuelve la serie.



Después se resuelve el paralelo (bifurcación).



Para concluir con la realimentación. Obteniéndose como función de transferencia global

$$M(s) = \frac{C}{E} = \frac{G_1 G_2 + G_3}{1 + H_1 (G_1 G_2 + G_3)}$$

Uf. Tenemos problemas para encontrar ese sitio.



No podemos conectar al servidor en adistancia.ced.junta-andalucia.es.

Si esa dirección es correcta, aquí hay otras tres cosas que puede probar:

- Vuelva a intentarlo más tarde.
- Compruebe su conexión de red.
- Si está conectado a través de un cortafuegos, compruebe que Firefox tiene permiso para acceder a la web.

Reintentar