

# *Control de procesos*

## *Introducción*

El objeto de todo proceso industrial será la obtención de un producto final, de unas características determinadas de forma que cumpla con las especificaciones y niveles de calidad exigidos por el mercado, cada día más restrictivos. Esta constancia en las propiedades del producto sólo será posible gracias a un control exhaustivo de las condiciones de operación, ya que tanto la alimentación al proceso como las condiciones del entorno son variables en el tiempo. La misión del sistema de control de proceso será corregir las desviaciones surgidas en las variables de proceso respecto de unos valores determinados, que se consideran óptimos para conseguir las propiedades requeridas en el producto producido.

El sistema de control nos permitirá una operación del proceso más fiable y sencilla, al encargarse de obtener unas condiciones de operación estables, y corregir toda desviación que se pudiera producir en ellas respecto a los valores de ajuste.

Las principales características que se deben buscar en un sistema de control serán:

1. Mantener el sistema estable, independiente de perturbaciones y desajustes.
2. Conseguir las condiciones de operación objetivo de forma rápida y continua.
3. Trabajar correctamente bajo un amplio abanico de condiciones operativas.
4. Manejar la restricciones de equipo y proceso de forma precisa.

La implantación de un adecuado sistema de control de proceso, que se adapte a las necesidades de nuestro sistema, significará una sensible mejora de la operación.

Principalmente los beneficios obtenidos serán:

- + Incremento de la productividad
- + Mejora de los rendimientos
- + Mejora de la calidad
- + Ahorro energético
- + Control medioambiental
- + Seguridad operativa
- + Optimización de la operación del proceso/ utilización del equipo
- + Fácil acceso a los datos del proceso

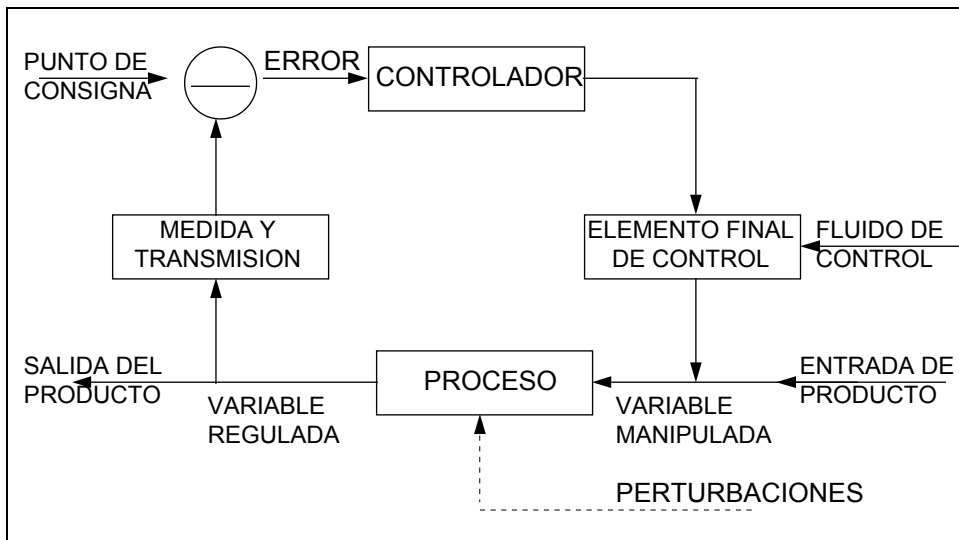
## Características del proceso

El control del proceso consistirá en la recepción de unas entradas, variables del proceso, su procesamiento y comparación con unos valores predeterminados por el usuario, y posterior corrección en caso de que se haya producido alguna desviación respecto al valor preestablecido de algún parámetro de proceso.

El bucle de control típico estará formado por los siguientes elementos, a los que habrá que añadir el propio proceso.

- + Elementos de medida (*Sensores*) Generan una señal indicativa de las condiciones de proceso.
- + Elementos de control lógico (*Controladores*): Leen la señal de medida, comparan la variable medida con la deseada (*punto de consigna*) para determinar el error, y estabilizan el sistema realizando el ajuste necesario para reducir o eliminar el error.
- + Elementos de actuación (*Válvulas y otros elementos finales de control*): Reciben la señal del controlador y actúan sobre el elemento final de control, de acuerdo a la señal recibida.

Esta serie de operaciones de medida, comparación, calculo y corrección, constituyen una cadena cerrada constituyen ciclo cerrado. El conjunto de elementos que hacen posible este control reciben el nombre de *bucle de control (control loop)*.



### *Tipos de control*

Se puede hacer una clasificación de los sistemas de control atendiendo al procedimiento lógico usado por el controlador del sistema para regular la evolución del proceso. Los principales tipos de control utilizados en los procesos industriales serán:

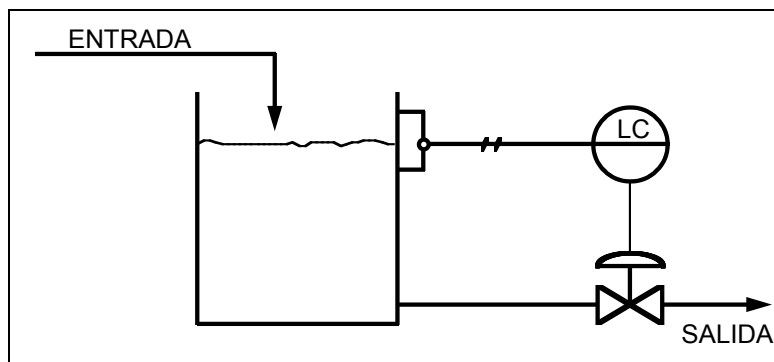
#### *Normales:*

- Sistemas de realimentación. (*Feed-back*)
  - \* Proporcional
  - \* Integral
  - \* Derivativo
- Sistema anticipativo (*Feed-Foward*)
- Sistema en cascada (*Cascade*)
- Sistema selectivo (*Over-Ride*)

#### *Avanzados*

- Control de restricciones (*Constraint Control*)
- Control del modelo de referencia (*Model Reference Control*)
- Optimización de unidades

A continuación se explicará el fundamento de actuación de algunos de ellos, aquellos de mayor importancia y aplicación. Para ello se recurrirá al ejemplo práctico de un depósito de cierta capacidad en el que es necesario regular el nivel de líquido.



## *Sistemas de control con realimentación*

Son sistemas de control de bucle cerrado en los que existe una realimentación continua de la señal de error del proceso al controlador, actuando éste conforme a esta señal buscando una reducción gradual del error hasta su eliminación.

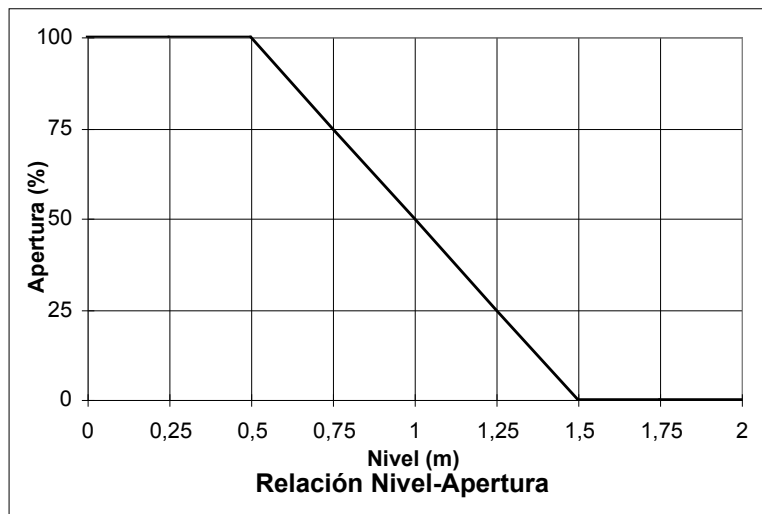
Es el tipo de sistemas que más extendido se encuentra en la actualidad.

Existen diversos diagramas de actuación con la característica común de la realimentación de la señal de error. Sin embargo, seguirán distintos fundamentos de actuación para conseguir la eliminación del error del sistema.

## *Control proporcional*

El sistema de control proporcional se basa en establecer una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control. Así, la válvula de control se moverá el mismo valor para cada unidad de desviación.

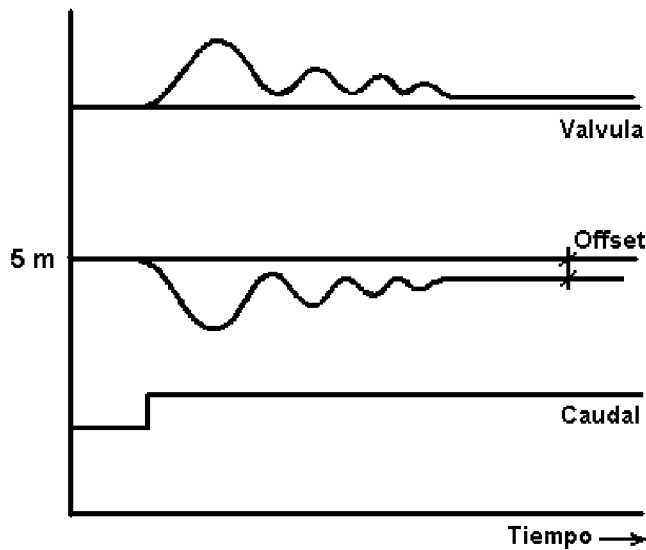
En el ejemplo del depósito, el control de nivel abrirá más o menos la válvula de drenaje en función de la desviación existente en el nivel respecto del valor de consigna. Si el nivel a subido a valores muy altos tendremos una gran apertura de la válvula. Por el contrario, para un nivel inferior al de ajuste la válvula se encontrará en una posición más cerrada que la que correspondería al set-point (ajuste).



El principal problema de este sistema es la imposibilidad de alcanzar de nuevo el punto de consigna cuando se varían las variables de entrada al proceso.

Imaginemos que el nivel de nuestro equipo está ajustado a un metro y el caudal de entrada es de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ , encontrándose la válvula de drenaje en la posición correspondiente al nivel de ajuste seleccionado. Así para que exista constancia de nivel la posición de la válvula de drenaje permitirá que se evacuen los  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  de caudal entrante.

Si el caudal de entrada aumenta a  $7 \text{ m}^3/\text{h}$  en un primer momento el nivel del depósito subirá rebasando el de ajuste, el controlador tendrá que abrir la válvula de drenaje buscando restablecer el nivel del depósito. Sin embargo, ahora el caudal a evacuar será superior al anterior por lo que la válvula tendrá que estar más abierta, valor que correspondería a un nivel diferente al de ajuste. De esta forma el sistema de control tendería a estabilizarse en un nivel distinto al de ajuste, donde el paso de la válvula permita evacuar los  $7 \text{ m}^3/\text{h}$  de caudal entrantes al sistema. La desviación existente entre el valor de ajuste y el estabilización se denominará *offset*.



### Control integral

El control integral basa su funcionamiento en abrir o cerrar la válvula, a una velocidad constante, hasta conseguir eliminar la desviación. La velocidad de accionamiento será proporcional al error del sistema existente.

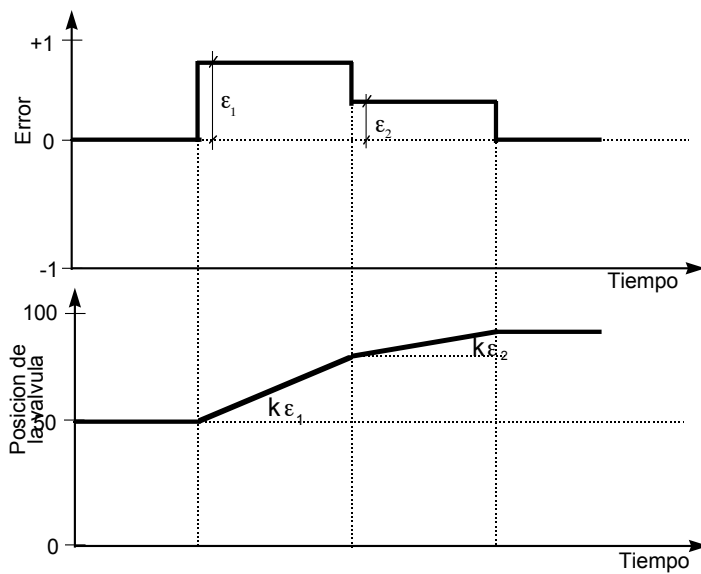
Volviendo al caso de nuestro depósito, debido a la variación de nivel ocasionada por el paso del caudal entrante de  $5$  a  $7 \text{ m}^3/\text{h}$  el controlador del sistema actuará de forma que se recupere el nivel de consigna. Por control integral el controlador actuará sobre la válvula de drenaje a una velocidad constante, proporcional a la desviación existente, durante el tiempo necesario para recuperar el valor de ajuste.

Analizaremos lo que ocurre realmente en la válvula, en un primer momento el paso de la válvula permitirá la circulación de los  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  de la alimentación. Al variar el caudal de alimentación a las nuevas condiciones se produce un aumento de nivel al existir una acumulación de materia en el tanque. El controlador del sistema irá aumentando la sección de paso de la válvula a velocidad constante llegándose a alcanzar valores de caudal de salida superiores a los  $7 \text{ m}^3/\text{h}$  entrantes para conseguir extraer la acumulación de materia producida. Cuando se llegue de nuevo a restablecer el nivel de ajuste, el

controlador actuará sobre la válvula de la forma necesaria para conseguir de nuevo la estabilidad del sistema.

Este sistema presenta la ventaja de carecer de *offset*, por lo que resulta posible recuperar las condiciones de operación de ajuste después de producirse una variación en las entradas del sistema.

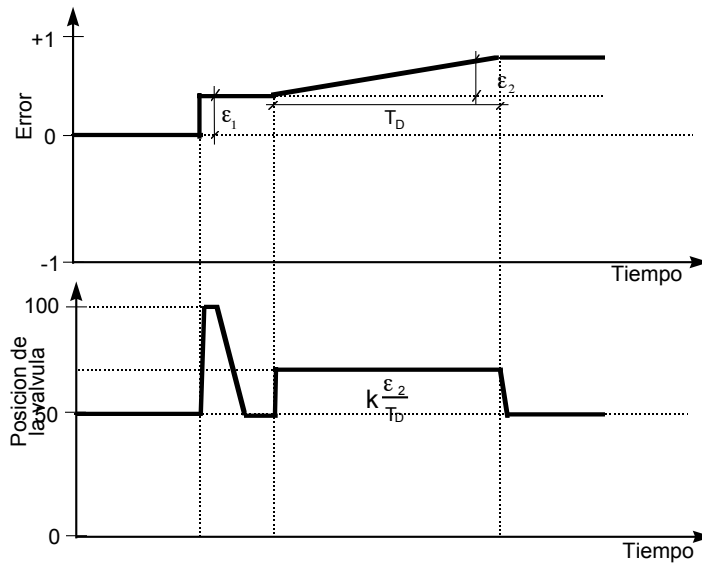
A continuación se representará gráficamente como evolucionan la posición de la válvula, el error del sistema y la variable de control en el tiempo.



*Control derivativo*

En la regulación derivada la posición de la válvula será proporcional a la velocidad de cambio de la variable controlada. Así, la válvula sufrirá un mayor o menor recorrido dependiendo de la velocidad de cambio del error del sistema.

Nos remitimos a las curvas de variación de las variables del sistema para una mejor comprensión del fundamento operativo de este modo de regulación.



Volviendo al ejemplo del depósito, la regulación de la válvula dependerá de como se haya producido la variación de nivel del sistema. Si el nivel varía lentamente la válvula tendrá un paso menor, al que tendría en caso de mayores velocidades de variación de nivel.

Supongamos que la variación de caudal entrante de 5 a 7 m<sup>3</sup>/h nos produce que el nivel suba 1 metro cada diez minutos, regulándose el sistema de forma que se extraen 8 m<sup>3</sup>/h hasta recuperar las condiciones de ajuste. Sin embargo, si tuviéramos el caso de que el nivel variase 2 metros cada cinco minutos sería necesario regular la válvula para tener una extracción de unos 15 m<sup>3</sup>/h con objeto de recuperar las condiciones de consigna de forma más rápida y eficiente.

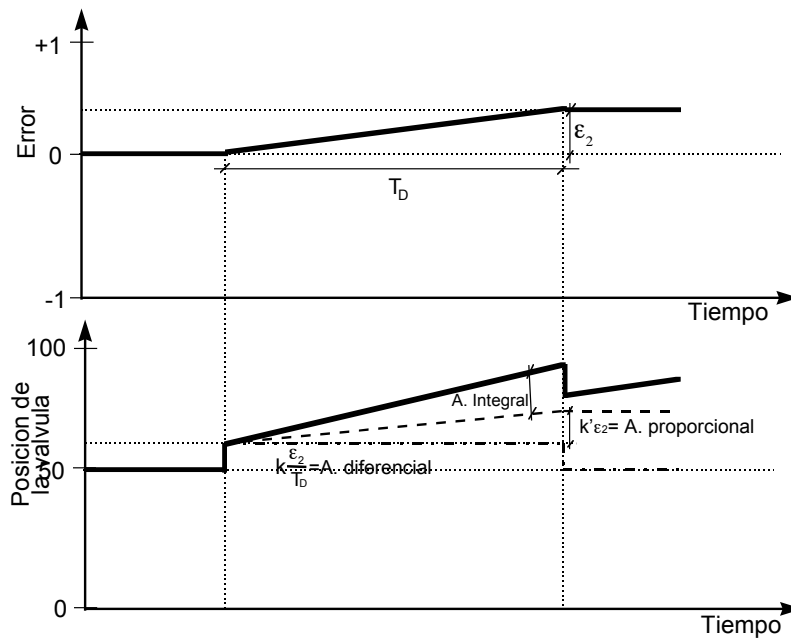
La adopción de este sistema de control nos permitirá una regulación sin *offset*.

El control derivativo nos permite tener una mayor velocidad de corrección de las desviaciones del sistema, contribuye a una operación más estable y continua.

Normalmente en las aplicaciones de control no se recurre solamente al empleo de un sólo tipo de regulación, dando lugar a sistemas de control combinados. Así surgen los controles PI (Proporcional+Integrado), PD (Proporcional+Diferencial) y PID (Proporcional+Integrado+Diferencial).

Estos sistemas suponen la ventaja de disponer de las características de regulación de los sistemas de control integrados en ellos.

La actuación de este tipo de sistemas se podrá comprender mejor si vemos el siguiente gráfico en el que se presenta conjuntamente la evolución del error en el tiempo y la posición correspondiente de la válvula en un control PID.

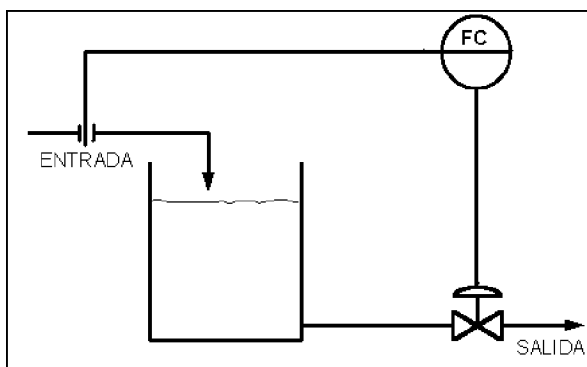


*Control anticipativo (Feed-Forward)*

En el control anticipativo el controlador del sistema utilizará la lectura de una o más variables de entrada para actuar sobre la variable manipulada que produce la salida deseada del proceso. No corresponderá ya al diseño de bucle cerrado al que hemos visto que respondían los sistemas de realimentación anteriores.

La principal ventaja de este tipo de sistemas es que no necesitan la aparición de una desviación en el sistema para efectuar la correcta regulación del mismo.

Para adoptar este tipo de control en el sistema ejemplo visto anteriormente tendremos que realizar las modificaciones que se pueden apreciar a continuación.



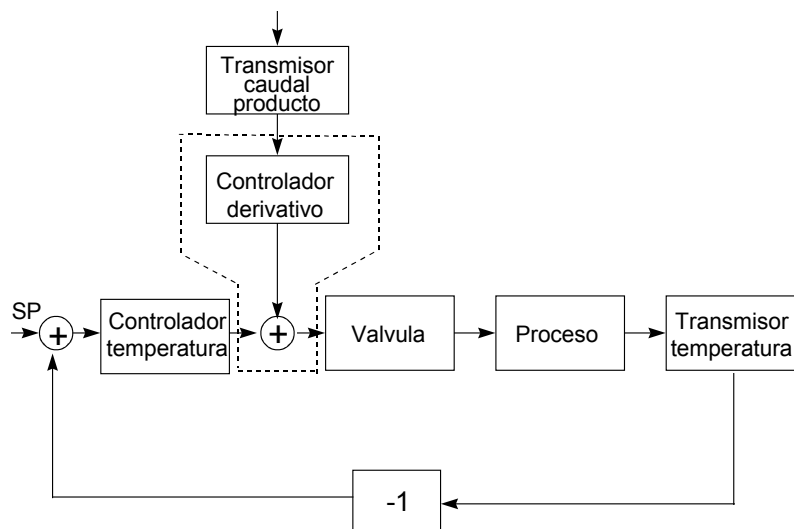
Ahora el controlador recogerá la lectura del caudal de entrada al deposito actuando sobre la válvula de salida, para controlar la cantidad de líquido que se evacua. De esta forma, si



regulamos el caudal extraído por fondo de la misma para que sea coincidente con el de entrada conseguiremos mantener estable el nivel del depósito.

El sistema anticipativo de control es interesante adoptarlo en casos donde el sistema tiene una gran inercia, de forma que una variación en el régimen de entrada no se muestra como una variación de la variables de operación hasta pasado un periodo de tiempo, más bien dilatado.

El control anticipativo se puede adoptar complementando a uno de realimentación. Así conseguiremos un sistema cuyo objetivo primero será reducir las desviaciones surgidas en el proceso, pudiendo tomar anticipadamente las medidas necesarias para que estas no se produzcan.

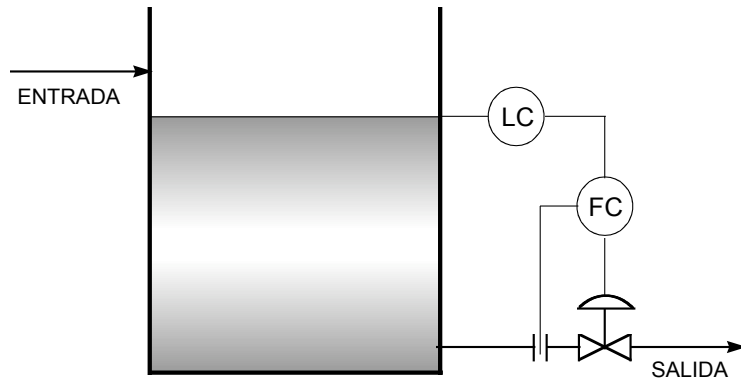


### Control en cascada

Existen casos en los que la variable manipulada, por su naturaleza, sufre grandes oscilaciones que afectan a la capacidad de control del sistema, llegando inclusive al caso de imposibilitarlo. En el ejemplo hasta ahora expuesto podríamos encontrar esta situación si se diese el caso que la corriente de salida se encontrase turboaspirada, dependiendo entonces la presión de aspiración del régimen al que girara la bomba. Así para una misma posición de la válvula de vaciado del depósito el caudal de paso por ella dependerá de la presión en la línea, siendo por tanto variable con ésta.

La solución a este tipo de problemas sería dotar al sistema de un controlador específico para regular la variable manipulada, ajustándose este a partir de la señal de salida del controlador principal, que antes era directamente recibida por la válvula. En nuestro depósito se pasará de determinar el caudal de salida únicamente por la posición de la válvula a adoptar un sistema de control que base su regulación en la medida directa del caudal efectivo que pasa por la línea.

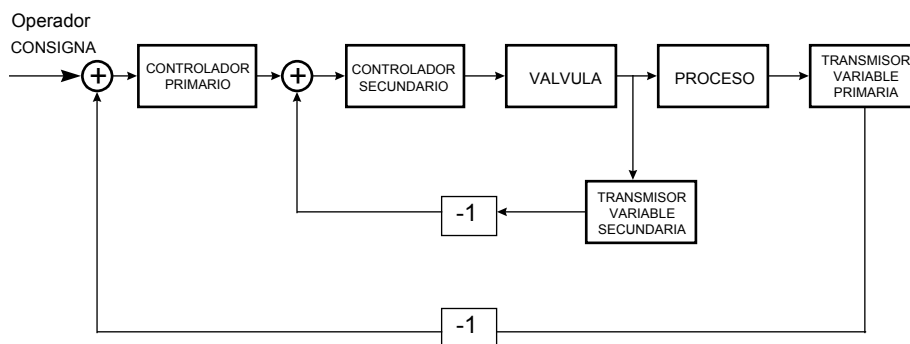
Esta nueva disposición se puede ver en la siguiente figura:



Generalizando, podemos decir que el sistema de control en cascada actúa a un esquema jerarquizado de variables de control, distinguiéndose entre variables primarias (*master*) y secundarias (*slave*). Las variables primarias serán las controladas, mientras que las secundarias son aquellas manipuladas/controladas para conseguir llevar al sistema al régimen de operación determinado por las variables primarias. Cabe decir que todo sistema de control en cascada constará al menos de un par de variables relacionadas, una primaria y otra secundaria.

En el esquema tendremos al menos dos controladores, encargados respectivamente del control de la variables primaria y secundaria. El operador del sistema establecerá el punto de ajuste del controlador primario, y actuando este sobre el ajuste del controlador secundario de manera que se consiga el valor de ajuste de la variable primaria. De manera coloquial podríamos decir que el controlador primario manda y el secundario obedece.

El esquema funcional de un sistema de control en cascada será el siguiente:



Desde el punto de vista de rapidez en el control del proceso se puede ver que las perturbaciones instantáneas en la variable secundaria se corrigen autónomamente, mientras que las variaciones más lentas en la variable primaria, que pueden producirse por múltiples causas, se corrigen por el núcleo del sistema de control para mantener el punto de consigna.