

## EL ABC DE LA AUTOMATIZACION

### **ALGORITMO DE CONTROL PID;** por Aldo Amadori

#### **Introducción**

El Control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, económicos, biológicos, etc. Los tipos de control empleados para estos procesos serán descritos a continuación, sin embargo es necesario indicar algunos términos que son empleados en todo sistema de automatizado.

**Señal de salida:** es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se denomina variable controlada. **PROCESS VARIABLE.**

**Señal de Referencia:** Es el valor que se desea que alcance la señal de salida. **SET POINT.**

**Error:** es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real.

**Señal de control:** es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya, o elimine, el error. **OUTPUT.**

**Señal análoga:** es una señal continua en el tiempo.

**Señal digital:** es una señal que solo toma valores de 1 y 0.

**Planta:** Es el elemento físico que se desea controlar. Planta puede ser: un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de combustible, etc.

**Proceso:** operación que conduce a un resultado determinado.

**Sistema:** consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.

**Perturbación:** es una señal que tiende a afectar la salida del sistema, desviándola del valor deseado.

**Sensor:** es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) es una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital. También es llamado transductor. Los sensores, o transductores, analógicos envían, por lo regular, señales normalizadas de 0-5 volts, 0-10 volts o 4-20mA.

Sistema de control de lazo cerrado: es aquel en el cual continuamente se está monitoreando la señal de salida para compararla con la señal de referencia y calcular la señal de error, la cual a su vez es aplicada al controlador para generar la señal de control y tratar de llevar la señal de salida al valor deseado. También es llamado control realimentado.

Sistema de control de lazo abierto: es estos sistemas de control la señal de salida no es monitoreada para generar una señal de control.

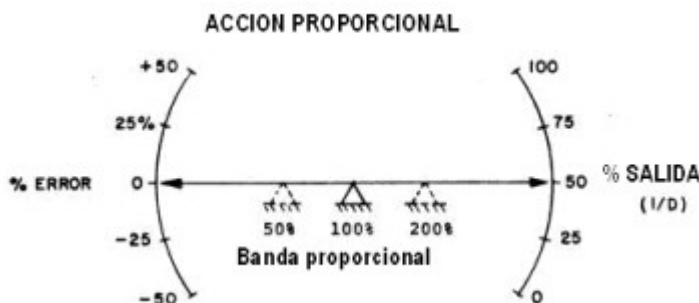
El control automático nace de la consideración del principio de realimentación el cual es bastante simple y muy poderoso. A lo largo de su historia, ha tenido una fuerte influencia en la evolución de la tecnología. Las aplicaciones del principio de realimentación han tenido éxito en los campos del control, comunicaciones e instrumentación. Para entender el concepto, asuma que el proceso es tal que cuando el valor de la variable manipulada se incrementa, entonces se incrementan los valores de las variables del proceso. Bajo este concepto simple, el principio de realimentación puede ser expresado como sigue:

Incrementar la variable manipulada cuando la variable del proceso sea más pequeña que la referencia y disminuirla cuando ésta sea más grande .

### Control Proporcional.

La respuesta proporcional es la base de los tres modos de control, si los otros dos, control integral y control derivativo están presentes, éstos son sumados a la respuesta proporcional. **“Proporcional” significa que el cambio presente en la salida del controlador es algún múltiplo del porcentaje del cambio en la medición.**

Este múltiplo es llamado **“ganancia”** del controlador. Para algunos controladores, la acción proporcional es ajustada por medio de tal ajuste de ganancia, mientras que para otros se usa una **“banda proporcional”**. Ambos tienen los mismos propósitos y efectos.



La figura muestra la respuesta de un controlador proporcional por medio de un indicador de entrada/salida pivotando en una de estas posiciones. Con el pivote en el centro entre la entrada y la salida dentro del gráfico, un cambio del 100% en

la medición es requerido para obtener un 100% de cambio en la salida, o un desplazamiento completo de la válvula. Un controlador ajustado para responder de ésta manera se dice que tiene una banda proporcional del 100%. Cuando el pivote es hacia la derecha, la medición de la entrada debería tener un cambio del 200% para poder obtener un cambio de salida completo desde el 0% al 100%, esto es una banda proporcional del 200%. Finalmente, si el pivote estuviera en la posición

izquierda y si la medición se moviera sólo cerca del 50% de la escala, la salida cambiaría 100% en la escala. Esto es un valor de banda proporcional del 50%. Por lo tanto, cuanto mas chica sea la banda proporcional, menor será la cantidad que la medición debe cambiar para el mismo tamaño de cambio en la medición. O, en otras palabras, menor banda proporcional implica mayor cambio de salida para el mismo tamaño de medición. Esta misma relación está representada por la figura. El gráfico muestra cómo la salida del controlador responderá a medida que la medición se desvía del valor de consigna. Cada línea sobre el gráfico representa un ajuste particular de la banda proporcional. Dos propiedades básicas del control proporcional pueden ser observadas a partir de éste gráfico: Por cada valor de la banda proporcional toda vez que la medición se iguala al valor de consigna, la salida es del 50%.

Cada valor de la banda proporcional define una relación única entre la medición y la salida. Por cada valor de medición existe un valor específico de salida. Por ejemplo, usando una línea de banda proporcional del 100%, cuando la medición está 25% por encima del valor de consigna, la salida del controlador deberá ser del 25%. La salida del controlador puede ser del 25% sólo si la medición esta 25% por encima del valor de consigna. De la misma manera, cuando la salida del controlador es del 25%, la medición será del 25% por encima del valor de consigna. En otras palabras, existe un valor específico de salida por cada valor de medición.

Idealmente, la banda proporcional correcta producirá una amortiguación de amplitud de un cuarto de ciclo en cada ciclo, en el cual cada medio ciclo es  $\frac{1}{2}$  de la amplitud del medio ciclo previo. La banda proporcional que causará una amortiguación de onda de un cuarto de ciclo será menor, y por lo tanto alcanzará un control mas ajustado sobre la variable medida, a medida que el tiempo muerto en el proceso decrece y la capacidad se incrementa .



Una consecuencia de la aplicación del control proporcional al lazo básico de control es el offset. Offset significa que el controlador mantendrá la medida a un valor diferente del valor de consigna. Esto es mas fácilmente visto al observar la figura.

Note que si la válvula de carga es abierta, el caudal se incrementará a través de la válvula y el nivel comenzará a caer, de manera de mantener el nivel, la válvula de suministro debería abrirse, pero

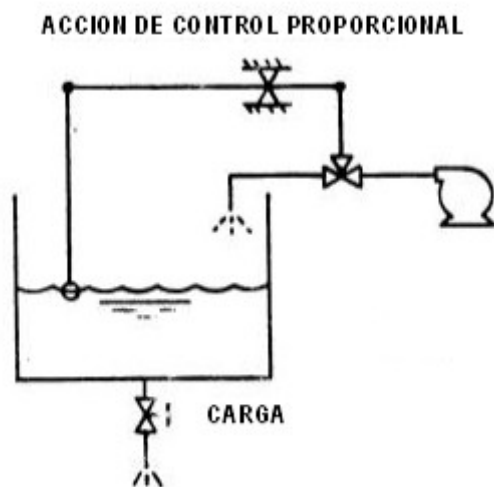
teniendo en cuenta la acción proporcional del lazo el incremento en la posición de apertura puede sólo ser alcanzado a un nivel menor. En otras palabras, para

restaurar el balance entre el caudal de entrada y el de salida, el nivel se debe estabilizar a un valor debajo del valor de consigna (o setpoint). Esta diferencia, que será mantenida por el lazo de control, es llamada offset, y es característica de la aplicación del control proporcional único en los lazos de realimentación. La aceptabilidad de los controles sólo-proporcionales dependen de si este valor de offset será o no tolerado, ya que el error necesario para producir cualquier salida disminuye con la banda proporcional, cuanto menor sea la banda proporcional, menor será el offset. Para grandes capacidades, aplicaciones de tiempo muerto pequeñas que acepten una banda proporcional muy estrecha, el control sólo-proporcional será probablemente satisfactorio dado que la medición se mantendrá a una banda de un pequeño porcentaje alrededor del valor de consigna.

### Control Integral

Cuando es necesario que no haya una diferencia de estado estable entre la medición y el valor de consigna bajo todas las condiciones de carga, una función adicional deberá ser agregada al controlador proporcional, esta función es llamada acción integral. La respuesta del lazo abierto del modo integral es mostrada en la figura, que indica un escalón de cambio en algún instante en el tiempo. En tanto que la medición estuviera en su valor de consigna, no existiría ningún cambio en la salida debido al modo integral del controlador.

Sin embargo, cuando cualquier error exista entre la medición y el valor de consigna, la acción integral hace que la salida comience a cambiar y continúe cambiando en tanto el error exista. Esta función, entonces, actúa sobre la salida para que cambie hasta un valor correcto necesario para mantener la medición en el valor de consigna. Esta respuesta es agregada a la banda proporcional del controlador según se muestra en la figura



El escalón de cambio en la medición primero produce una respuesta proporcional, y luego una respuesta integral es agregada a la proporcional. Cuanto más acción integral exista en el controlador, más rápido cambia la salida en función del tiempo

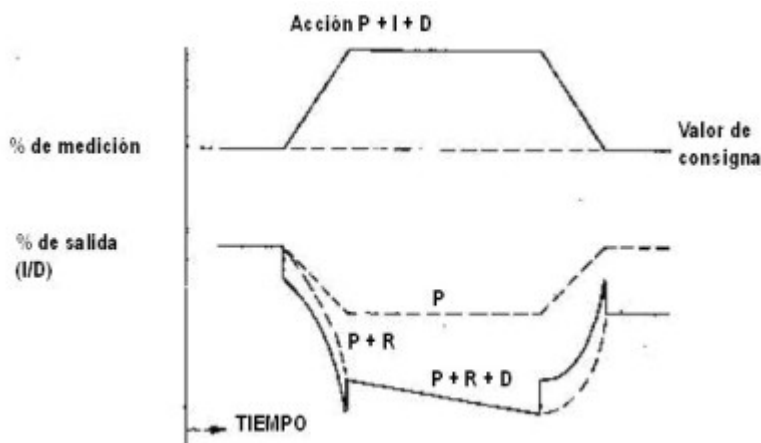
### Acción Derivativa.

La tercera respuesta encontrada en controladores es la acción derivativa. Así como la respuesta proporcional responde al tamaño del error y el Integral responde al tamaño y duración del error, el modo derivativo responde a cuan rápido cambia el error. En la figura, dos respuestas derivativas son mostradas.

En la figura, dos respuestas derivativas son mostradas.

La primera es una respuesta a un corte en la medición alejada del valor de consigna. Para un escalón, la medición cambia en forma infinitamente rápida, y el modo derivativo del controlador produce un cambio muy grande y repentino en la salida, que muere inmediatamente debido a que la medición ha dejado de cambiar

luego del escalón. La segunda respuesta muestra la respuesta del modo derivativo a una medición que está cambiando a un régimen constante. La salida derivativa es proporcional al régimen de cambio de éste error. Cuanto mayor sea el cambio, mayor será la salida debido a la acción derivativa. La acción derivativa mantiene ésta salida mientras la medición esté cambiando. Tan pronto como la medición deja de cambiar, esté o no en el valor de consigna, la respuesta debido a la acción derivativa cesará. Entre todas las marcas de controladores, la respuesta derivativa es comúnmente medida en minutos como se indica en la figura. El tiempo derivativo en minutos es el tiempo que la respuesta proporcional del lazo abierto mas la respuesta derivativa está delante de la respuesta resultante del valor proporcional solamente. Así, cuanto mas grande sea el número derivativo mayor será la respuesta derivativa. Los cambios en el error son un resultado de los cambios tanto en el valor de consigna como en la medición o en ambos. Para evitar un gran pico causado por las escalones de cambio en el valor de consigna, la mayoría de los controladores modernos aplican la acción derivativo sólo a cambios en la medición. La acción derivativa en los controladores ayuda a controlar procesos con constantes de tiempo especialmente grandes y tiempo muerto significativo, la acción derivativa es innecesaria en aquellos procesos que responden rápidamente al movimiento de la válvula de control, y no puede ser usado en absoluto en procesos con ruido en la señal de medición, tales como caudal, ya que la acción derivativa en el controlador responderá a los cambios bruscos en la medición que el mismo observa en el ruido. Esto causará variaciones rápidas y grandes en la salida del controlador, lo que hará que la válvula esté constantemente moviéndose hacia arriba o hacia abajo, produciendo un desgaste innecesario en la misma.



La figura muestra una acción combinada de respuesta proporcional, integral y acción derivativa para la medición de temperatura de un intercambiador de calor simulado que se desvía del valor de consigna debido a un cambio de carga. Cuando la medición comienza a desviarse del valor de consigna, la

primera respuesta del controlador es una respuesta derivativa proporcional al régimen de variación de la medición que se opone al movimiento de la medición al alejarse del valor de consigna. La respuesta derivativa es combinada con la respuesta proporcional agregada, a medida que la integral en el controlador ve el error incrementarse, el mismo controla la válvula más fuerte aún. La acción continua hasta que la medición deja de cambiar, entonces la acción derivativa se detiene. Dado que existe aún un error, la medición continua cambiando debido a la integral, hasta que la medición comienza a retornar hacia el valor de consigna.

Tan pronto como la medición comienza a moverse retornando hacia el valor de consigna, aparece una acción derivativa proporcional al régimen de cambio en la variación oponiéndose al retorno de la medición hacia el valor de consigna. La acción integral continúa debido a que aún existe un error, a pesar de que su contribución disminuye con este. Además, la salida debido al valor proporcional está cambiando. Así, la medición retorna hacia el valor de consigna. Tan pronto como la medición alcanza el valor de consigna y deja de cambiar, la acción derivativa cesa nuevamente y la salida proporcional vuelve al 50%. Con la medición nuevamente en su valor de consigna, no existen más respuestas a variaciones debidas al valor integral. Sin embargo, la salida está ahora a un nuevo valor. El nuevo valor es el resultado de la acción integradora durante el tiempo en que la medición se alejó del valor de consigna, y compensa el cambio de carga que fue causado por la alteración original.

Finalmente se puede indicar que pese a que se ha indicado la forma de operar de tres modos de control se deberá tener un claro concepto de los siguientes puntos.

1. Para alcanzar el control automático, el lazo de control deberá estar cerrado.
2. Para tener un lazo realimentado de control estable, el ajuste más importante del controlador es la selección de la acción correcta, sea directa o inversa.
3. El valor correcto de los ajustes de banda proporcional, Integral, y tiempo derivativo dependen de las características del proceso, cabe consignar que en los controladores actuales dichos valores se pueden detectar en forma automática, ya que el controlador dispone de un modo en que produce alteraciones controladas, y dentro de ciertos límites establecidos previamente por el operario, en la salida se miden los resultados del proceso para una cierta cantidad de ciclos de alteración, en base a éste comportamiento puede detectar cuál es el mejor conjunto de ajustes para controlar un proceso mediante el software interno del aparato.
4. La función del modo integral es para eliminar el offset. Si mucho valor de offset es usado, el resultado será una oscilación de la medición. Si un valor muy bajo de reset es usado, el resultado será que la medición retorna al valor de consigna más lentamente que lo posible.
5. El modo derivativo se opone a cualquier cambio en la medición. Una acción derivativa muy pequeña no tiene efecto significativo, una acción con valores muy altos provoca una respuesta excesiva del controlador y un ciclo en la medición.