

Conceptos Básicos Sobre Instrumentación para Medición y Control de Procesos

Antonio Gutierrez¹, Iván Pezoa¹

¹ Area de Instrumentación y Automatización, Escuela Tecnológica, USACH, Chile.

1. Introducción

En todo proceso, entendido éste como la función y operaciones utilizadas en tratamiento de material, la ingeniería de procesos persigue los siguientes objetivos:

- ❖ Mejorar la calidad del producto que se está produciendo.
- ❖ Disminuir el costo de producción, lo que se consigue operando en regímenes óptimos, que hagan posible un mínimo consumo de materias primas y energía y minimicen, al mismo tiempo, los desgastes de equipos e instalaciones
- ❖ Introducir seguridad a las operaciones, tanto en lo relativo a máquinas como personas.
- ❖ Por ello, la necesidad indispensable de incorporar al proceso dispositivos (léase instrumentos) que nos permitan controlar las diversas variables de éste en forma tan exacta como se requiera, a objeto de satisfacer las especificaciones del producto.
- ❖ En un proceso debemos distinguir a nivel de variables las siguientes:
 - Las variables de salida, que son aquellas que se desea mantener bajo control del medio (sean éstas energía o material de proceso)
 - Las variables de entrada, por medio de las cuales se puede actuar para afectar el valor de las variables de salida.

Existen además, otras variables y parámetros que tienen incidencia sobre las variaciones de salida, pero que no se pueden manipular debido a que se carece de acceso a ellas o es muy oneroso influir sobre éstas o cuyo valor depende de otros procesos. Dichas variables, que son generalmente de carácter aleatorio, se denominan perturbaciones.

A objeto de acercarse a los objetivos mencionados, habrá que cumplir físicamente con las siguientes condiciones:

La o las variables de salida – desde ahora variables (V.C)- deberían estar en lo posible dentro de un rango prefijado y preferentemente en un valor especificado como referencia, y en muchos casos independiente del valor que tomen las perturbaciones. Ejemplo, la temperatura de un horno se deberá mantener entre 90 y 110°C, y preferentemente en 100°C con independencia de si su puerta está abierta o cerrada.

En ocasiones no se desea controlar en forma específica un conjunto de variables físicas, sino más bien que una relación matemática entre ellos sea mínima, Ejemplo, Índice de costos.

Por razones de seguridad, deberá contarse con un sistema de alarmas que indiquen cuándo algunas variables salen fuera de rangos permisibles.

Todo esquema, destinado al control de las variables de salida y que están ligados estrechamente al producto manufacturado, tiene su punto de partida en los elementos de medición de magnitudes físicas que se exigen como representativas desde el punto de vista del valor que poseen como información a transmitir desde el punto de vista del valor que poseen como información a transmitir desde un punto a otro en el esquema de control, y como elemento final un dispositivo que nos permitirá manipular sobre la o las variables de entrada. Esta presentación se ilustra más claramente a través de un simple equipo de transferencia de calor.

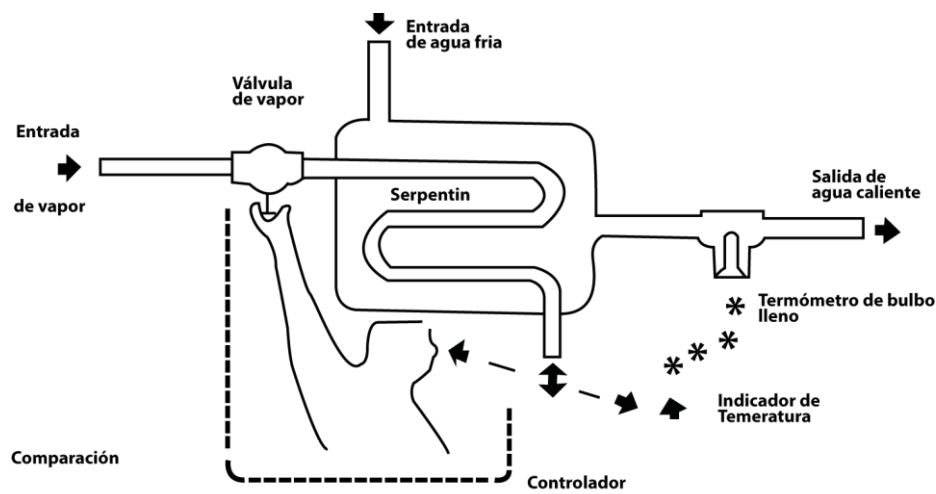


Fig. 1. Sistema de control

En lo ilustrado, el control sobre la variable de salida lo ejerce un operador humano. Este operador está observando la temperatura del agua de salida en un instrumento indicador y gira la válvula de vapor cada vez que se produce una alternación en el valor deseado de la salida. Esta acción del operador se produce a provocar la diferencia entre lo indicado por el instrumento y el valor referencia que le ha sido prefijado –nota un error.

Esta operación la ejecutará cuantas veces observe, compare y note un error, hasta que finalmente la temperatura se ajuste al valor deseado.

El loop de control establecido, aunque si bien es cierto es manual, precisa claramente las etapas que intervienen básicamente las etapas que intervienen básicamente en la instrumentación de un proceso. Un diagrama en bloques de éste debería ser.

En el control manual del proceso el operador mide, si bien no es él quien sensa directamente la temperatura de salida del agua, compara ésta con el valor deseado, procesa la información anterior y determina cuánto abre la válvula de vapor, y ejecuta esta corrección en la entrada de vapor al equipo. Entonces, las funciones básicas desarrolladas por el operador en control manual son:

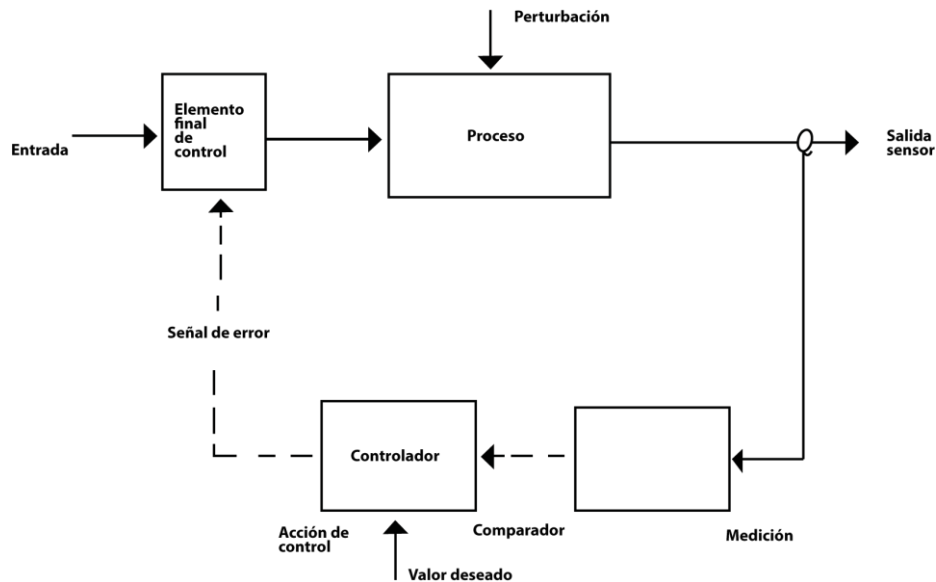


Fig. 2. Esquematación de un sistema de control

- a) Medición.
- b) Comparación.
- c) Procesa Información.
- d) Corrección.

Estas mismas pueden ser provistas por algún sistema automático que evite la posibilidad de excesos que se originan frecuentemente debido a la acción del operador humano, siendo preciso en estos casos entrar a un período de corrección del exceso, en que, en procesos de baja capacidad, es solo una solución parcial.

Un esquema automático de control, comparativamente, cumplirá las mismas funciones básicas (y en el mismo orden) que lo hace un operador humano.

Los planes de medida organizan la función de medición; ellos sensan y evalúan una variable de salida del proceso.

La función de comparación entre el calor medido y señal de referencia es ejecutada por el detector de error, el cual genera una señal cuando hay una desviación entre lo medido y lo deseado.

La función de corrección de una entrada al proceso es realizada por el elemento final de control, que actúa ante la señal actuante o de error.

Así, un esquema automático de control es un aparato sensor de error y autocorrección. Este loop cerrado es comúnmente llamado circuito de realimentación.

Los distintos componentes de un sistema de control de procesos pueden ser de naturaleza mecánica, neumática, hidráulica, eléctrica o una combinación de dos o más de ellas.

En algunos casos al elemento sensor –que transforma la manifestación física de la variable controlada en otra conforme a naturaleza del sistema control-. Se le incorpora un dispositivo que recibe, la señal no estandarizada del sensor, convirtiéndola en una apta de ser interpretada por los controladores o ser transmitida a distancias, a este dispositivo se le denomina transmisor. Al conjunto sensor-transmisor se le denomina elemento primario.

El reemplazo que se lleva a cabo entre el control manual y otro automático es que la función de comparación y computación del error lo realiza un “controlador”. Este en base al error, a la tendencia de éste a su historia interior y otras consideraciones que se le han programado – al aparato controlador- recomienda una posición del elemento final de control a objeto de obtener el valor deseado de la variable de salida. Esta posición recomendada se transmite por medio de una señal estándar al actuador.

En este último, probablemente, la decisión del especialista es decisiva, ya que la selección del modo de control es un compromiso entre la salida del control obtenido y el costo del sistema de control. El sistema de control deberá satisfacer la tolerancia de los procesos, pero no satisfará requerimientos mayores a los solicitados o su costo será excesivo.

Lo anteriormente escrito puede ser clarificado considerando como funciones básicas de control, las ejecutadas por un moderno sistema de control automático, como lo muestra esquemáticamente un sistema operado por aire aplicado al equipo de transferencia de calor. (ver figura 3)

2. Descripción del sistema automático de control implementado

2.1. Sistema de medición

El sistema de medición de este esquema típico consta de 3 partes:

- ❖ Termómetro de bulbo (elemento sensitivo). Este elemento está convirtiendo la temperatura del agua de salida (energía calórica) en una señal cuantificable en términos de presión (energía mecánica).
- ❖ Tubo capilar. Esta parte del sistema lleva la señal desde el elemento sensitivo al elemento receptos.
- ❖ Tubo de Burdon. Este evalúa la señal del elemento primario y convierte la señal recibida en movimiento mecánico de acción para el detector de error.

2.2. Elemento Detector de Error

Está compuesto básicamente por un sistema neumático placa tobera de simple acción (abierto-cerrado). Un suministro regulado de aire para a través de un tubo reductor de tipo capilar y después a una tobera de mayor diámetro. (Si la tobera no presenta dicha restricción, la presión en el tubo será baja, ya que el volumen restringido de aire que fluye a través del tubo reductor puede pasar libremente por la tobera). Si la señal actuante sitúa la lengüeta cerca de la tobera, la consiguiente obstrucción del aire hará que la presión aumente en la sección correspondiente entre la restricción y la tobera.

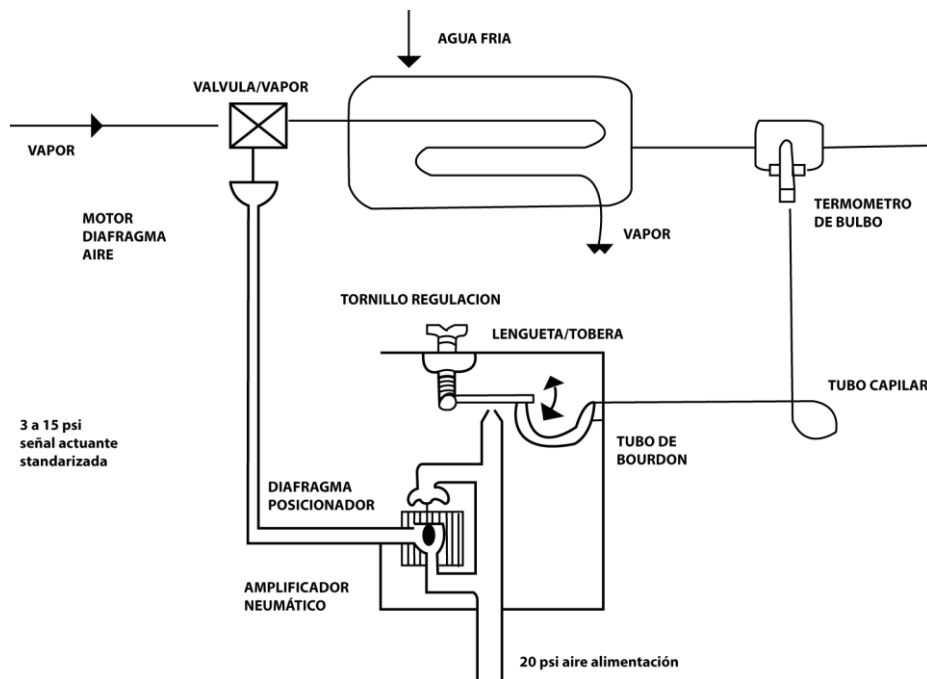


Fig. 3. Funciones básicas del control

2.3. Amplificador

La figura 3 mientras que la señal de error, de bajo nivel, es amplificada linealmente por un relé amplificador. Si se dependiese del pequeño volumen que pasa de la restricción para accionar el elemento fina, esta operación sería demasiado lenta para un fin práctico.

Un suministro de aire regulado entra por el costado izquierdo del relé. La válvula piloto en la cámara izquierda consiste en un “plug” de acero inoxidable situado por un

diafragma. La señal de error desde el detector es aplicada al diafragma; esto causa que el “plug” de la válvula piloto se mueva hacia arriba o hacia abajo sobre la entrada de aire regulado, por lo cual se genera una señal de error normalizada como salida del controlador, siendo ésta de suave proporcionalidad al error o desviación representada por el sistema lengüeta bourdon.

2.4. Motor operador

La señal de error debe ser convertida en correcciones de la variable manipulada. En muchos sistemas de control, este requerimiento toma la forma de motor para el elemento final de control. En el caso de la figura, el posicionamiento de la válvula se logra a través de un motor de diafragma accionado por la presión del aire de salida del amplificador.

2.5. Elemento Final de Control

Este elemento corrige en último término el valor de la variable manipulada. En el sistema de control visto, la válvula de vapor es el elemento final de control, la que está en contacto directo con el agente vapor obteniéndose así las correcciones sobre dicho agente.

3. Eficiencia del control

La eficiencia que se obtiene en el control de un proceso, está directamente relacionada a 2 efectos, los cuales deben ser considerados en toda aplicación.

El primero de éstos, son los cambios de carga, que se originan en la variable de salida y se deben a la alteración de las condiciones del proceso.

El otro, el retraso en el proceso, que corresponde al tiempo que la variable controlada toma para alcanzar un nuevo valor cuando ocurre un cambio de carga.

3.1. Origen de los cambios de carga

Los cambios de cargas pueden producirse a partir de las siguientes fuentes principales:

- ❖ Cambios en demanda del medio: En el ejemplo del intercambiador de calor el aumento en el flujo de agua o el cambio en la temperatura o material del proceso del cual la variable manipulada es una condición o característica. En ambos casos

se requiere vapor en mayor o menor cantidad para mantener el fluido a la temperatura deseada.

- ❖ Cambios en la calidad del agente de control: si se usa vapor como agente de control y su presión disminuye, su temperatura será menor, en este caso deberá agregarse más vapor para mantener una temperatura constante en el intercambio. Todas las correcciones por este error deberán ser hechas por el controlador.
- ❖ Cambios en las condiciones ambientales: las fluctuaciones de temperatura en torno al intercambiador de calor harán que se requiera más vapor en el invierno a pesar de que todas las demás variables se mantengan constantes. Por esta razón, algunos procesos poseen arreglos combinados de invierno-verano para absorber los cambios de temperatura ambiente.
- ❖ Cambios internos del proceso: en estos casos es usado un agente de control diferente en diversas etapas durante el proceso con el objeto de mantener el control de la variable de salida.
- ❖ Cambios en el punto de control: este corresponde a un ajuste externo al proceso que implica necesidades de energía adicional a objeto de reunir las nuevas condiciones.

3.2. Retraso del proceso

El retraso del proceso es causado por una o más de las tres características principales del mismo: Capacitancia, Resistencia, y el Tiempo muerto.

Capacitancia: Esta característica está ligada a la capacidad pero no son idénticas. La capacidad es una medida de la cantidad máxima de energía o material que puede ser almacenado dentro de los confines de una cierta pieza del equipo o proceso. Es medida en unidad de capacidad. La capacidad en volumen de un estanque abierto, por ejemplo, es el volumen máximo del líquido que puede almacenar son que éste se derrame.

Las unidades dimensionales para capacidad están dadas por:

Tabla 1. Unidades de capacidad

Tipo de Proceso	Unidades Usuales
Térmico	Btu. [K calorías]
Presión	pies cúbicos [Kgs.]
Nivel de Líquido	16(libras) [m3]

Ahora la capacitancia es la modificación en la cantidad contenida por unidad de cambio en la variable de referencia. Esta es medida en unidades de cantidad divididas entre la variable de referencia.

Tabla 2. Unidades de capacitancia

Tipo de Proceso	Unidades Usuales
Térmico	Btu/° grados [K calorías/grados]
Presión	pies ³ /pie [Kgs./Ka/m ²]
Nivel de Líquido	16/pie [m ³ /m]

Ejemplo:

Los dos recipientes de la figura 4, tienen diferente capacitancia a pesar de que sus capacidades son idénticas. El recipiente A tiene una capacitancia de 100 dividida por 10, ó sea 10 pies³/pie. El recipiente B tiene una capacidad de 100 dividida por 5 o sea 20 pies³/pie.

En control de nivel de un líquido, la gran capacidad del recipiente B impedirá grandes cambios de nivel debido a la carga, Sin embargo, introducirá un retraso en la corrección, debido a cualquier cambio de carga que fuese lo suficientemente grande para afectar a la variable controlada. En cambio, en el recipiente A con pequeña capacitancia, responderá rápidamente y será muy sensible a los cambios de carga. En este caso, un pequeño cambio de carga provocará un cambio en la variable controlada.

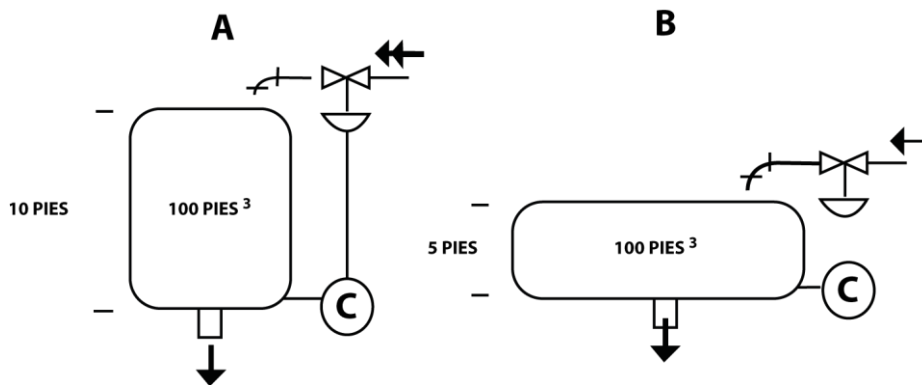


Fig. 4. Partes de una caldera

Resistencia: Esta característica del proceso es la oposición al flujo. Es medida en las unidades del cambio potencial requerido para producir un cambio unitario en el flujo. Esta forma de retraso es particularmente importante en control de temperatura, debido a las características de las transferencias de calor desde el proceso hasta el bulbo sensor de temperatura. Por ejemplo, la carga de material estanco sobre los tubos del intercambiador de calor, con frecuencia crea una resistencia más seria al flujo del calor que las paredes mismas del tubo.

Por ello los termómetros sumergidos en la corriente de un fluido deben tener una velocidad adecuada de un fluido deben tener una velocidad adecuada a través de ellos

para eliminar el efecto de capa, que de otra manera crearía un serio retraso en la transmisión de la temperatura.

Unidades dimensionales de resistencia.

Tabla 3. Unidades de resistencia

Tipo de Proceso	Unidades
Térmico	Grad/(Btu/seg) ^{°C} [K calorías/seg]
Presión	Psi/(pies ³ /seg) [(Kg/m ²)/(m ³ /seg)]

Frecuentemente los efectos de resistencia son minimizados usando un modo de control que se anticipe (estimativamente) a la temperatura que hay en el proceso, compensando el retraso de transferencia.

Tiempo Muerto: Esta característica es cualquier retraso definido entre dos acciones relacionadas en el proceso. Algunas veces es llamado retraso de transporte y es medido en unidades de tiempo.

Un ejemplo de tiempo muerto, es un calentador de carga de los usados en la industria química. El petróleo toma tiempo en pasar a través de toda longitud de los tubos en el siguiente proceso. Se usa un control de temperatura en la salida, para asegurar que el fluido lleve la temperatura correcta.

Si la velocidad del petróleo es de 100pies/min, en un calentador con 200 pies de largo, el tiempo requerido para detectar un cambio de temperatura a la entrada será de 2 minutos.

El retraso así originado (tiempo muerto) no causa cambio en las características de reacción del proceso, sino más bien en el tiempo. No se perciben cambios hasta que el tiempo muerto ha pasado. Este retraso es serio en muchos procesos y ha conducido a introducir sistemas de control de mayor envergadura, a objeto de evitar condiciones inestables en el control (figura 5).

4. Acciones de control

En control manual (figura 1) cuando el operador detecta que la temperatura está desviada por sobre el valor deseado, el puede actuar en la posición de la válvula-vapor de varias maneras:

- ❖ Cerrado instantáneamente la válvula.
- ❖ Cerrando la válvula lentamente a velocidad constante.
- ❖ Cerrando la válvula a cantidad constante por cada unidad de desviación.

El operador también puede usar otros métodos o combinaciones de los métodos de manipulación de la válvula.

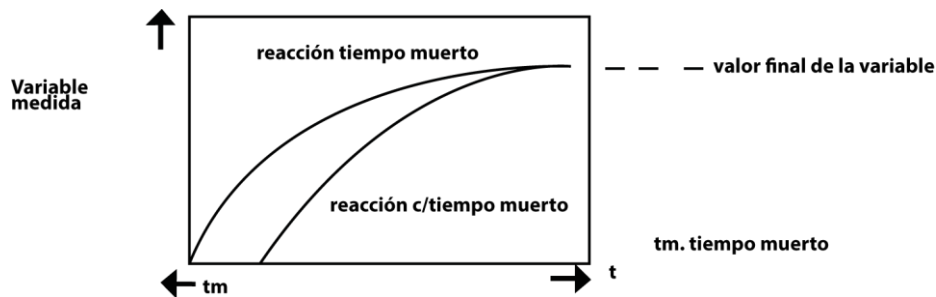


Fig. 5. Gráfico de tiempo muerto

La acción de control, o modo de control, es la manera en que un sistema de control realiza las correcciones relativas a la desviación. Cuando es aplicado al instrumento mismo, el término acción de control describe la forma en que el controlador particular cambia su salida en relación a la entrada o desviación. Subrayemos que la acción de la entrada de un proceso resulta de la aplicación combinada de las características de todos los elementos funcionales que comprenda un sistema de control.

La moderna instrumentación de control industrial está usualmente hecha de modo de producir, o una combinación, de las siguientes acciones de control.

- ❖ Dos posiciones (On – Off).
- ❖ Flotante.
- ❖ Proporcional.
- ❖ Integral.
- ❖ Derivativo.

4.1. Control de dos posiciones.

Básicamente, en el control de dos posiciones el elemento final de control es llevado con relativa rapidez de una a otra de las dos posiciones extremas para un valor único de la variable controlada. Es decir, no existe una posición intermedia de control entre los dos extremos de abierto y cerrado; este modo es también denominado On-Off.

Un ejemplo de un sistema de control de las posiciones eléctrico es mostrado en la Fig. 6. Cuando la temperatura está sobre el valor de set-point (referencia), el contacto eléctrico de la válvula cerrando ésta; cuando la temperatura está bajo el punto “set” el contacto es abierto y la válvula abre.

Se ha visto que este control puede no realizar una corrección exacta. El control de dos posiciones es simple y ampliamente utilizado en procesos con velocidades de reacción lentas para los que puede proporcionar una regulación adecuada. El control

de dos posiciones es más apropiado para un proceso con la mínima velocidad de transferencia en las que las dos posiciones extremas se pueden ajustar para permitir una entrada a penas mayor o menor que los requisitos de operación normal. Los cambios de carga hacen que la variable controlada siga un ciclo a una velocidad y magnitud, según la velocidad y la desviación del cambio de carga. Cuando dicho cambio es demasiado grande o se produce con una excesiva velocidad, el control es inestable. El sistema puede abastecer una cantidad excesiva o deficiente del agente de control y entenas en una variación rápida que se denomina comúnmente oscilación o inestabilidad. Tal oscilación es típica de la regulación de dos posiciones, y sin embargo, es satisfactoria en muchos casos (Este modo se aplica generalmente a procesos discontinuos de gran capacidad).

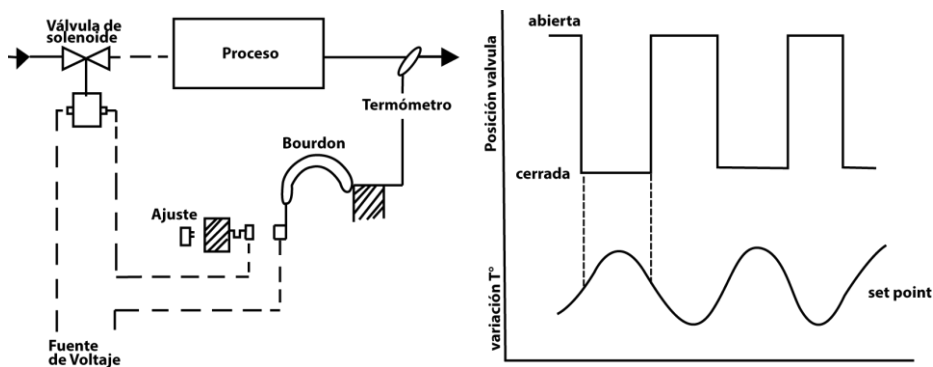


Fig. 6. Sistema de control de 2 posiciones ON-OFF

Una variación común del anterior es un sistema de dos posiciones con gap diferencial. En éstos, elemento final de control es movido relativamente rápido desde una primera posición a una segunda cuando la variable controlada alcanza el valor "set" desde una dirección y puede retornar a su primera posición solamente después que la variable ha pasado en la dirección opuesta, rango de valores (llamado gap diferencial), a un segundo valor.

La figura 7, muestra un típico sistema de dos posiciones con gap diferencial.

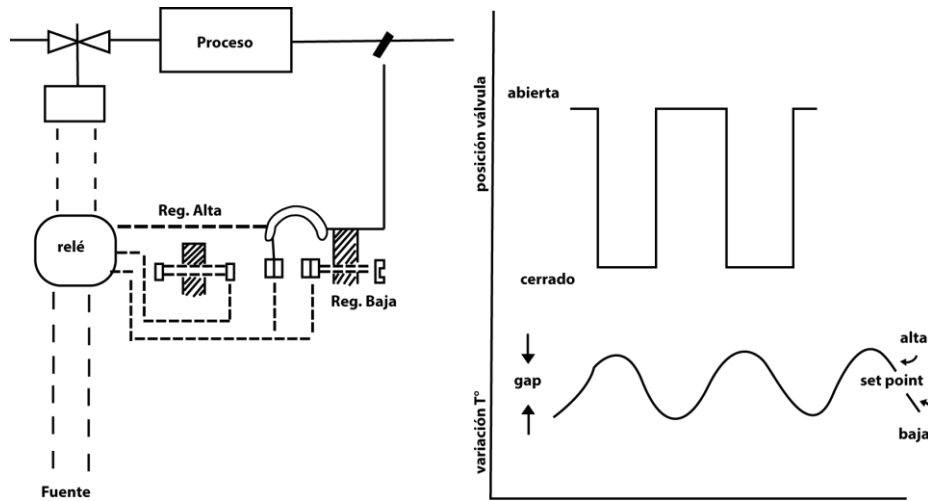


Fig. 7. Sistema de control con Gap diferencial

Note que no ocurre acción de la válvula mientras la variable está dentro de este gap diferencial, por lo que la válvula actúa con menos frecuencia.

4.2. Control Flotante.

Cuando los cambios de carga son grandes y rápidos, es necesario proporcionar una mejor clase de control que el control On-Off

El control flotante mueve el elemento final de control a una velocidad constante en cualquier dirección, siempre que la variable controlada cambie en un valor predeterminado en la relación al punto de ajuste. A diferencia del control On-Off, el modo flotante cambia la velocidad de abierto a cerrado.

En un control flotante, el elemento final de control no se mueve mientras la variable controlada permanezca dentro de la zona neutra. Cuando dicha variable se destaca fuera de dicha zona el elemento final de control entra en acción en la dirección apropiada para corregir la variable controlada. Este movimiento continúa hasta que dicha variable regrese a la zona neutra o hasta que se active toda la apertura del elemento final de control, o bien, hasta que se cierre, según la corrección que se necesita.

En el control flotante, el elemento final de control se mueve con mayor lentitud que en el control On-Off, debido que conviene tener una ubicación intermedia para la aplicación. El control flotante tiene la ventaja de contrarrestar cambios graduales de cargas mediante una variación también gradual del elemento final de control. Esto minimiza la formación de oscilaciones, pero no la elimina por completo.

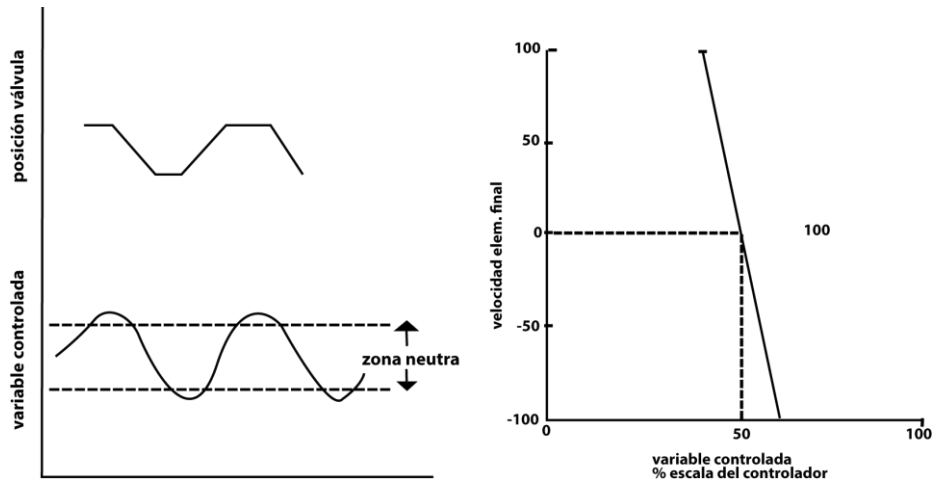


Fig. 8. Sistema de control flotante

4.3. Control Proporcional.

En este modo hay una relación lineal continua ente el valor de la variable controlada y la salida del controlador (siempre y cuando la variable esté dentro de la banda proporcional), correspondiendo éste al cambio en la variable de medida que causará el cambio total en la salida del controlador. Se expresa en unidades de la variable controlada.

La fig. 9 nos muestra la relación entre la posición de la válvula y la variable controlada característica de la acción proporcional, Nótese que la posición de la válvula cambia en exacta proporción a la desviación. Podemos apreciar que la acción proporcional responde solamente a una cantidad de desviación y es insensible a la razón o duración de la desviación.

En la fig. 9 que nos muestra un simple control de nivel líquido mediante una acción de control proporcional, la carrera de la válvula se divide proporcionalmente en función de la escala (amplitud de ésta). Cuando el depósito está completamente lleno y el flotador en su posición más baja la válvula está completamente abierta. Esto representa una banda proporcional de 100%; el 100% de carrera de la válvula está distribuido uniformemente respecto al 100% de la amplitud de la medición. Una banda estrecha significa un control sensitivo. Si fuéramos capaces de ajustar el regulador al 0% banda proporcional, tendríamos un control de dos posiciones. Sin embargo, esto no es posible, pues implicaría que la ganancia es infinita, y por cierto el mecanismo no es capaz de obtenerla. El control proporcional equilibra la entrada de un proceso con respecto a la salida, pero tiene una limitación importante.

Al producirse un incremento de la carga (salida del proceso) el flotador bajará y aumentará la abertura de la válvula de entrada. Eventualmente el flotador encontrará una nueva posición y una abertura correspondiente de la válvula de entrada de suerte que el proceso quede en equilibrio. Una vez logrado el equilibrio, el flotador estará en una nueva posición desviada del punto inicial. Esta desviación estable o “droop” es característica en todos los sistemas de control proporcional porque el mecanismo no puede competir con los cambios de carga del proceso. El punto de referencia y el punto de equilibrio coinciden solamente para un conjunto específico de condiciones (Ej: cuando un 50% de carrera de la válvula suministra un flujo de energía entrante igual al flujo de energía saliente).

Al ocurrir una desviación estable el reguladora necesita ser reajustado para efectuar el control de este “nuevo sistema” (esto es, el mismo, pero con carga diferente) al punto de control apropiado (función que ocupa el manual reset). Esta conexión puede efectuarse mediante la acción de control integral.

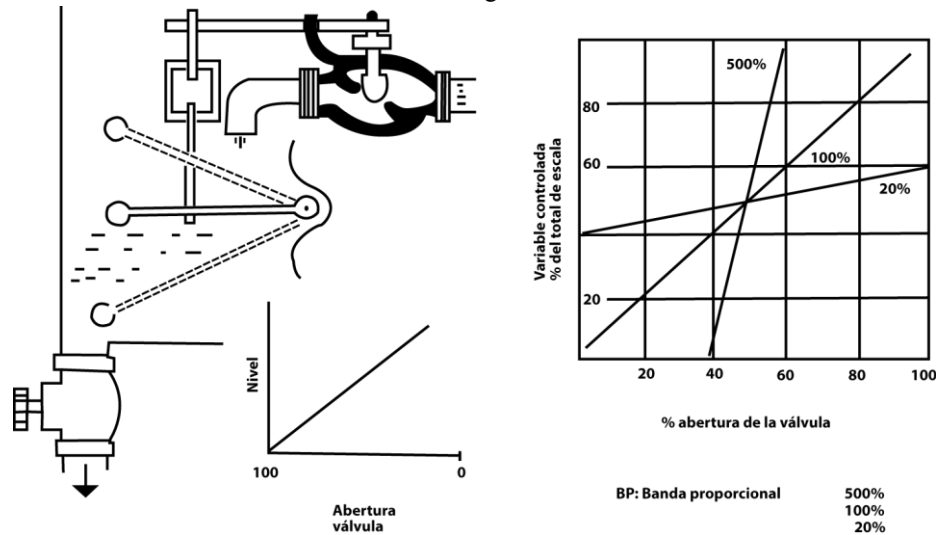


Fig. 9 Sistema de control proporcional

4.4. Control Integral.

El ajuste a mano (manual reset) posicionará la válvula de entrada con respecto a la medición (el flotador). Esto se hizo para reducir a cero la desviación estable.

Es un sistema de control automático esta función de reajuste (o integral) se efectúa mediante la integración del error en el sistema.

La acción de control integral se define como “un tipo de acción de control en el cual la conexión potencial cambia a una velocidad proporcional a la desviación”. Esto

quiere decir que si la variable está fuera del punto de control (desviación), entonces el regulador ejerce una función correctiva cuya velocidad de cambio es proporcional a la desviación. Así el modo de control integral elimina la desviación estable debida a un cambio en la carga en un sistema de control proporcional.

La velocidad de cambio en la acción correctiva de control se expresa en términos de la acción proporcional básica. Es decir, para una desviación dada, el regulador proporcional efectúa una acción correctiva igual a X. la acción integral se expresa en términos del tiempo que necesita el regulador integral para efectuar una acción correctiva igual a X, o sea, en repetir la acción proporcional.

Las unidades de modo integral vienen así expresadas en minutos (tiempo transcurrido en repetir la acción proporcional), o su recíproca, (repeticiones por minuto). La primera lo hace en unidades de tiempo, mientras la segunda en unidades de velocidad.

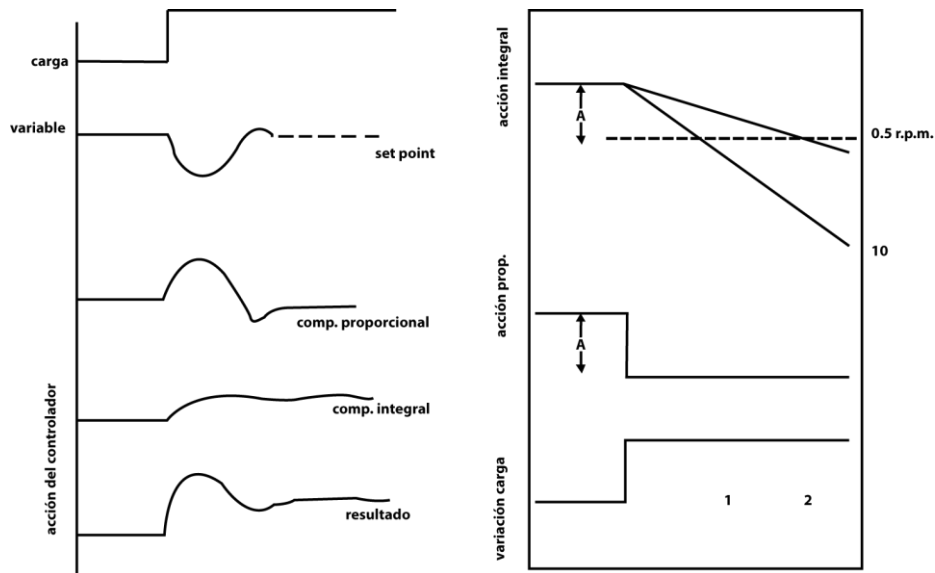


Fig. 10. Sistema de control integral

4.5. Control Derivativo.

Hay muchos procesos que contienen capacidades y resistencias múltiples, y como resultado puede existir un retraso entre el instante en que ocurre un cambio de la variable y el instante en que el cambio en la medición se aplica al mecanismo de control. El propio dispositivo de medición tiene capacidad y resistencia contribuyendo al retraso. Los procesos térmicos son un claro ejemplo de esto.

Una rápida desviación indica, que está ocurriendo alguna fuerte perturbación en el proceso, y el regulador puede ejercer una fuerte acción correctiva, aún cuando dicha desviación sea pequeña. En efecto, el regulador se adelantara a la desviación y así la acción es “anticipativa”.

Como se aprecia en la figura 11, para un modo proporcional más derivativo, se desea que una rápida desviación, origine una fuerte señal de salida del regulador, pero no es eliminada la indeseable característica de desviación estable de la acción proporcional.

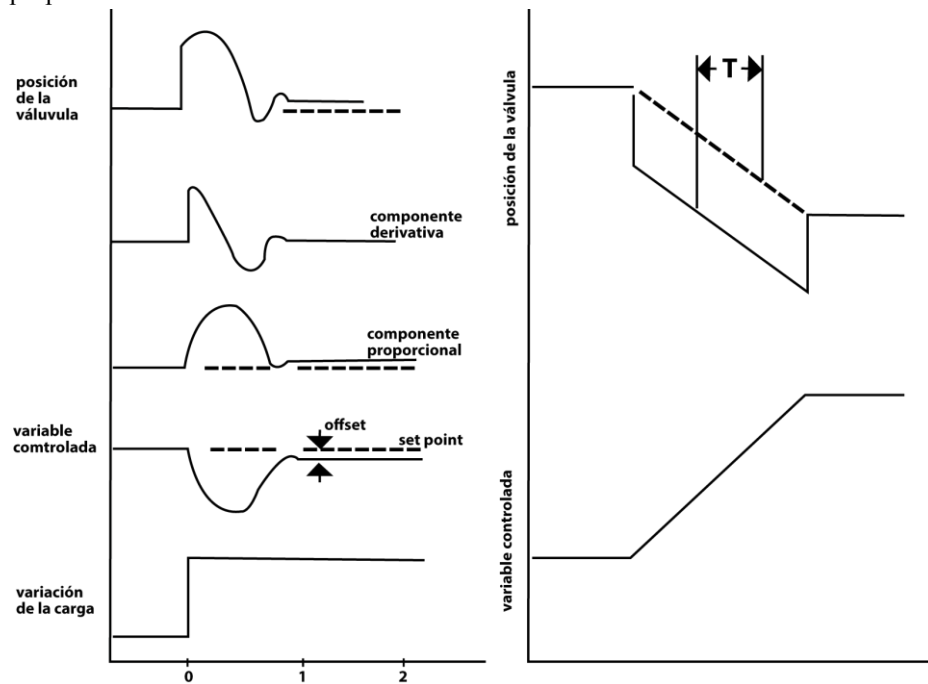


Fig. 11. Sistema de control derivativo

5. Selección de la acción de control

Probablemente la más importante decisión en instrumentación para el control de procesos sea la selección del modo de control.

La solución es usualmente in compromiso entre la calidad del control a obtener y el costo del sistema de control.

En un resume, observe que cada modalidad de control puede aplicarse a procesos que tienen ciertas combinaciones de características básicas. Al elegir una modalidad

de control, la mejor selección es el modo más simple que logre el control necesario para producir un producto económicamente competitivo.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de las características principales de proceso que se requieren de las distintas modalidades de control.

Tabla 4. Modos de control y sus aplicaciones

Modo	Velocidad de la reacción del proceso	Cambios de carga		Aplicaciones
		Tamaño	Velocidad	
Dos posiciones	Lenta	Cualquiera	Cualquiera	Instalaciones de gran capacidad de temperatura y nivel.
Flotante	Rápida	Cualquiera	Pequeña	Procesos con pequeños tiempos muertos. Hornos Industriales, aire acondicionado.
Proporcional	Lenta o Moderada	Pequeño	Moderada	Procesos de presión, temperatura y nivel donde la desviación estable es permitida.
Proporcional más integral	Cualquiera	Grande	Lenta o moderada	La mayoría de las aplicaciones, incluso flujo No recomendables para operaciones en tándem donde la respuesta es relativamente lenta para la variable control.

Tabla 5. Tipo de proceso y acción de control

PROCESO	BANDA PROPORCIONAL	INTEGRAL	DERIVATIVA
Flujo y presión de líquido	(500 – 2%)	Requerido	No requerido

Presión de gas	(5 – 0%)	No requerido	No requerido
Nivel del líquido	(50 – 5%)	Ocasionalmente requerido	No requerido
Temperatura	(100 – 1%)	Requerido	Requerido

6. Estabilidad de control

La estabilidad de control es demostrada por la habilidad de la variable medida para regresar al punto de ajuste fijo después de la perturbación. Esta habilidad del control se define como las propiedades de los efectos combinados del sistema de control u del proceso. Uno sobre el otro, en donde la variable controlada es mantenida dentro del límite sin permitir oscilaciones cíclicas. Dependiendo de las características del sistema, pueden ser obtenidos cinco diferentes tipos de respuestas; éstas son:

- ❖ Estable sobreabatida.
- ❖ Estable y críticamente abatida.
- ❖ Estable subabatida.
- ❖ Oscilante y condicionalmente estable.
- ❖ Inestable con oscilaciones crecientes.

Siempre que se forma un loop de control habrá riesgo de que se presente un sistema oscilatorio o inestable. Un ajuste de banda proporcional muy angosta conlleva una corrección cuyos efectos son mayores que la perturbación original. El efecto de esta corrección es amplificado por correcciones subsecuentes, de modo que las variaciones de la salida del controlador alcanzan rápidamente amplias proporciones.

Para un sistema lineal, el tamaño de la función escalonada de entrada no tiene ningún efecto sobre la estabilidad del sistema. Para sistemas no lineales, sin embargo, el tamaño del escalón puede ser un factor importante en la estabilidad.

El sistema críticamente amortiguado es el arreglo óptimo, sin embargo, más que probar con un sistema, se usa una respuesta ligeramente subabatida con el objeto de obtener la mejor respuesta; el primer intento debe ser igual a, o menor del 20% de la perturbación de entrada y cada oscilación sucesiva debe caer y seguir una función exponencial decreciente (figura 13)

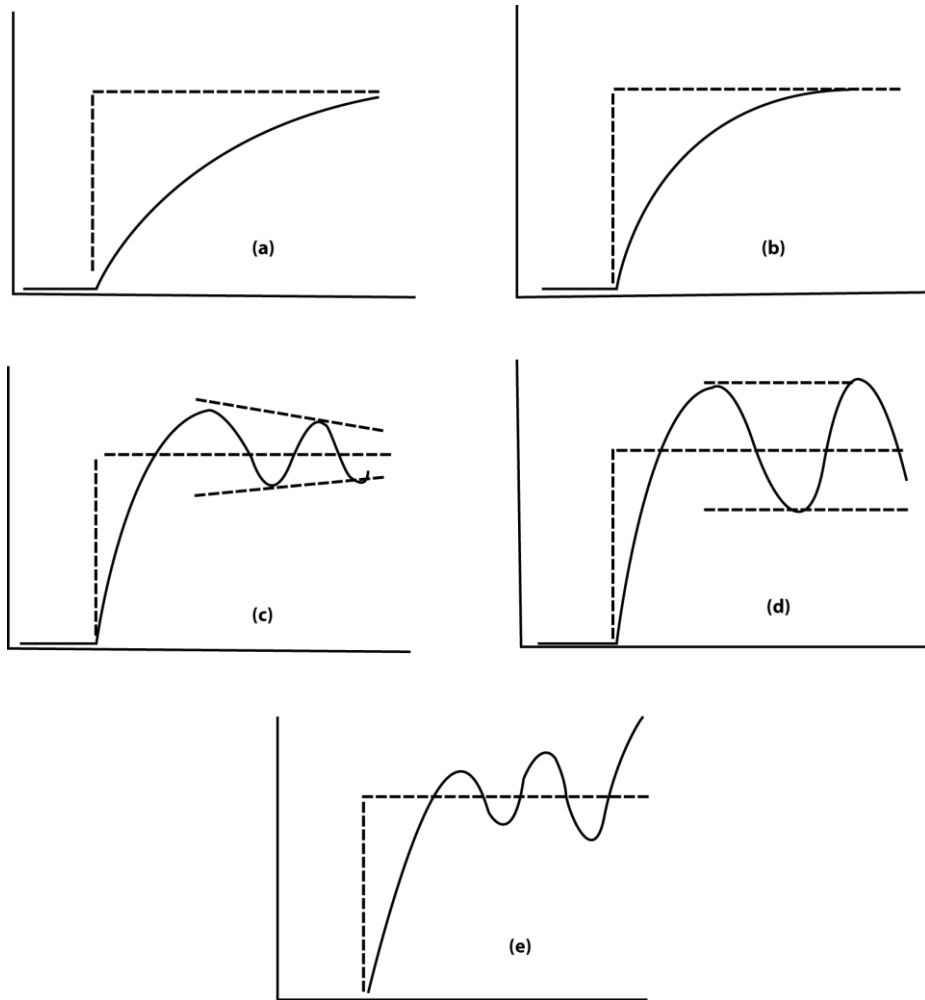


Fig. 12. Estabilidad de control

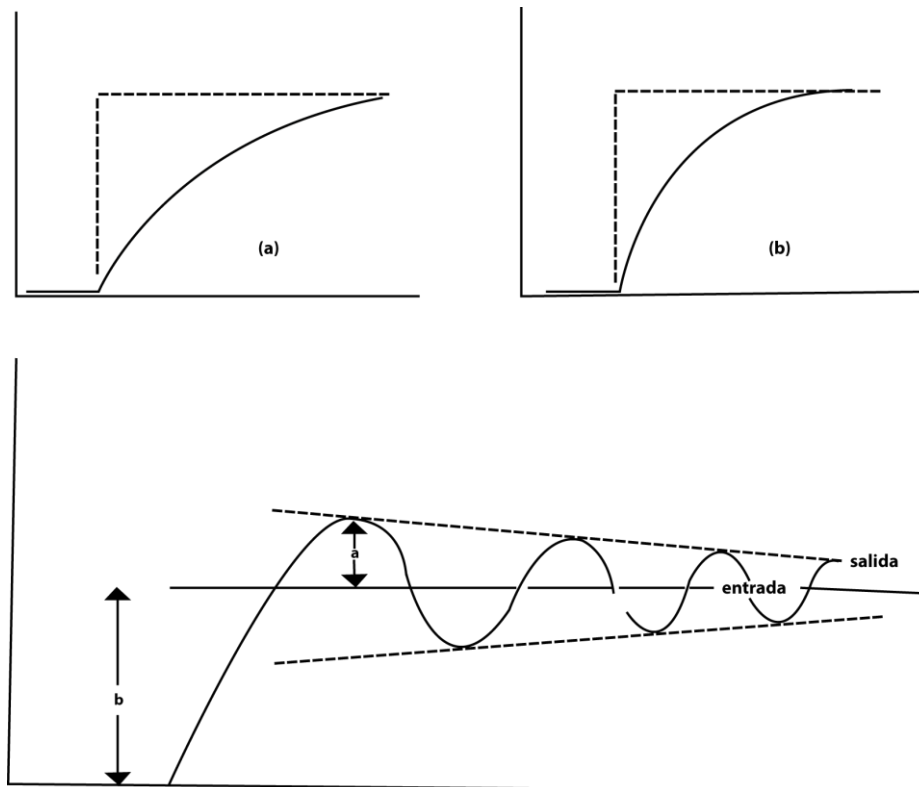


Fig. 13. Sistema críticamente amortiguado

Los diferentes tipos de procesos requieren criterios diferentes en lo que se relacione con la natural satisfacción de la estabilidad del control. Los criterios usados son: área mínima, desviación mínima y mínimo ciclaje.

Para la mayoría de las aplicaciones, se desea generalmente, el área mínima, bajo la curva del proceso, a pesar de que ésta resulta con una desviación del punto de ajuste. Esto es lo que se desea en algunas aplicaciones tales como el procesamiento de alimentos donde un gran desajuste causaría que el producto se eche a perder.

La desviación mínima mantiene un control muy estrecho, a pesar de que se presente una variación cíclica próxima al punto de ajuste fijo: manteniendo pequeñas las desviaciones, se elimina la respuesta indeseable de todo el sistema, que pudiera presentarse con un criterio de área mínima. En esta respuesta resulta una curva ligeramente subabatida.

La variación cíclica mínima es usada donde deben ser evitadas las perturbaciones de cierta duración. Muchos procesos químicos tienen numerosos sistemas en serie. Una perturbación para cualquier período de tiempo se reflejará a través de todo el

proceso. La variación cíclica mínima es el resultado de un sistema estable y críticamente abatido.

Un conocimiento del tipo de sistema y de la variable por controlar hará posible la predicción acerca de la respuesta del proceso. Esto es de gran ayuda al seleccionar la instrumentación requerida.

Referencias

1. D. Considine. Manual de Instrumentación Aplicada, México 1964.
2. N. Anderson. Instrumentation for Measurement and Control. USA, 1975.
3. A. Kreuz. Instrumentación Industrial, México 1981.