

- METODOLOGÍA - - SCAP -



Empresa: EYP SCAP, S.A.
Dirección: Avenida Victoria, 93
28221 Majadahonda – Madrid
Tel: 91 372 90 51
Fax: 91 372 91 71

METODOLOGÍA DEL SISTEMA DE CONTROL ADAPTATIVO PREDICTIVO

1. INTRODUCCIÓN

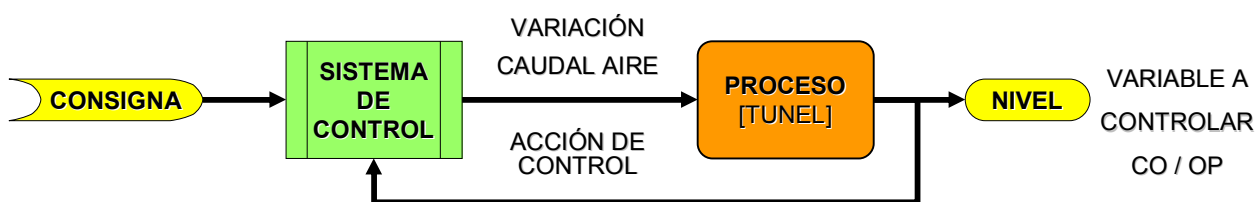
En este documento se expone un breve resumen de generalidades sobre el control, los sistemas de control tradicionales, la metodología de control adaptativo predictivo, la comparación entre ambas metodologías, así como las ventajas económicas derivadas de utilizar el sistema de control adaptativo predictivo.

Para ilustrar al lector se utiliza como ejemplo práctico el control de la ventilación en un túnel de carretera.

Todas las consideraciones que se exponen en el documento justifican el por qué la metodología de control adaptativo predictivo se considera la más adecuada para establecer el control de ventilación.

2. GENERALIDADES SOBRE CONTROL

Efectuar un control consiste en realizar las operaciones oportunas, acciones de control, para mantener unas variables en unos valores prefijados. Por ejemplo, la concentración de CO o la Opacidad OP en un túnel podría ser la variable a controlar. Cuando esta variable subiera por encima de un determinado nivel, el valor prefijado, podría hacerse circular aire para reducirla, esta sería la acción de control. Un sistema electrónico actuando de forma automática sobre un ventilador o un determinado grupo de ventiladores, que regulase el caudal de aire no contaminado dentro del túnel, resolvería el mismo problema de forma automática de acuerdo con un esquema tal como el de la siguiente figura:

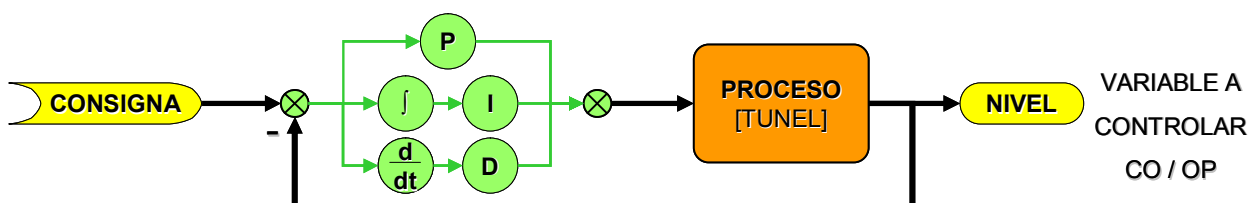


Para poder efectuar un control automático de las diferentes variables es preciso disponer de sensores adecuados que suministren medidas fiables. Con una periodicidad preestablecida el sistema de control actúa sobre cada uno de los elementos necesarios, válvulas, interruptores, motores, para conducir la evolución de las variables al nivel prefijado.

3. SISTEMAS DE CONTROL TRADICIONALES

Los sistemas de control tradicionales están basados en la metodología de realimentación negativa PID.

En los controladores PID la variable a controlar se resta del valor prefijado o consigna y a partir de esta diferencia o error se calcula la acción de control, suma de una proporcional, otra integral, y otra derivada, como se muestra en la siguiente figura.



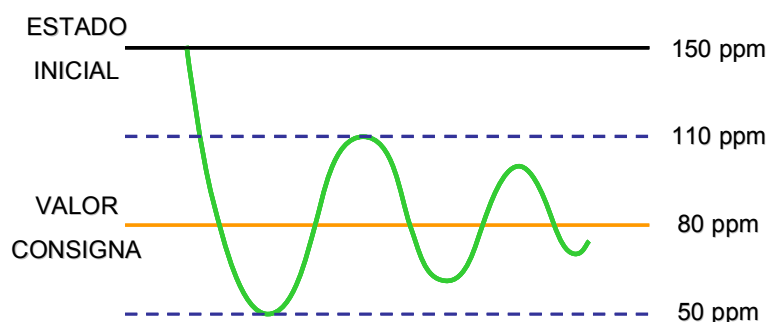
Su simplicidad supone una gran ventaja y es lo que les ha llevado a su gran implantación en el mercado, primero con tecnología neumática, después electrónica analógica y finalmente digital mediante microprocesadores y computadores.

Su limitación, sin embargo, estriba en un problema inherente de estabilidad que a continuación se analiza.

3.1 Problema de Inestabilidad

Si se quiere controlar una variable, es porque su tendencia natural es a alejarse del valor deseado, y en particular, tiende a oscilar. Si esto no fuese así, no existiría el problema de control. En general la consigna es una constante, por lo que al restarle estas oscilaciones de la variable, se reproducen invertidas al nivel de la señal de error.

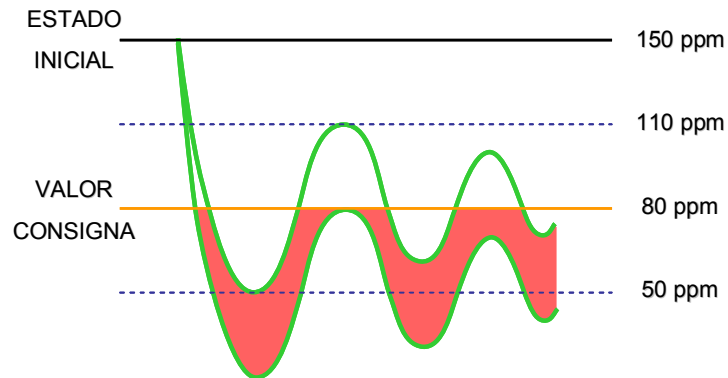
Para que el control tenga una respuesta rápida que corrija de forma significativa el error, el controlador PID tenderá a comportarse como un amplificador. En consecuencia, una oscilación de la señal de error será amplificada a nivel de la señal de control con el riesgo de se reproduzca en la variable que deseamos controlar, aproximándonos, o alcanzando, de esta forma al conocido fenómeno de resonancia que se muestra en la siguiente figura.



Para evitar las oscilaciones provocadas por esta problemática de estabilidad, el controlador puede hacerse más lento en su respuesta mediante el ajuste manual de sus parámetros PID. Sin embargo, de esta forma se evitan las oscilaciones, pero se tienen errores importantes durante largos períodos de tiempo.

3.2 Ejemplo de Control PID

A continuación se analiza, con un ejemplo, el comportamiento de un PID en el caso de la contaminación del aire, lo cual se ilustra en la figura siguiente. Sea el caso de un túnel que en un determinado momento tiene una concentración de CO de 150 ppm, y se desea alcanzar un nivel de concentración de CO de 80 ppm. Esto significa que se quiere lograr una transición rápida, lo cual traerá consigo unas oscilaciones importantes, probablemente entre 50 y 110 ppm. Por otra parte cada vez que la concentración bajase o subiese respecto al valor de consigna los ventiladores respectivamente se pararían y arrancarían, lo que no es aconsejable.



Para evitar que la concentración suba de 80 ppm, el operador podría cambiar el punto de consigna a 50 ppm. Esta acción traerá consigo un desplazamiento hacia abajo de las oscilaciones, es decir, entre los 80 ppm y los 20 ppm. Estos niveles tan bajos de concentración cíclicos, en el caso hipotético de que se alcanzasen se traducen, obviamente, en un gasto innecesario de energía, representado en el gráfico siguiente por la zona comprendida entre el valor de consigna y la curva inferior, y así como un mayor tiempo de funcionamiento y no evitaría las paradas y arranques excesivos de los ventiladores.

4. LA METODOLOGÍA DE CONTROL ADAPTATIVO PREDICTIVO

Muchos de los grandes avances de la era tecnológica que vivimos han sido posibilitados por la introducción de los computadores digitales. Dichos computadores permiten realizar operaciones más complejas que las de un control PID, en concreto, almacenar parámetros y variables y en consecuencia almacenar un modelo. Entendiendo por modelo un conjunto de ecuaciones que relaciona las entradas de un proceso con sus salidas.

En todo proceso se tiene la salida que se desea controlar y la señal de control que se manipula.

El control predictivo lo que hace es, utilizar el modelo del proceso para predecir la evolución de la variable de salida del mismo y calcular la señal de control que hace esa evolución predicha igual a la evolución deseada, es decir, control predictivo es lo que hace predicho igual a deseado.

Cuando se usa el control predictivo, y el modelo del proceso es capaz de predecir adecuadamente, entonces desaparecen todos los problemas de estabilidad, característicos de la metodología de realimentación negativa PID, ya que en ese caso es posible conducir el proceso al punto deseado y de la manera deseada.

Obviamente, disponiendo de la capacidad de predecir bien, se podría calcular y aplicar la señal de control para que ocurra lo que verdaderamente se quiere que ocurra.

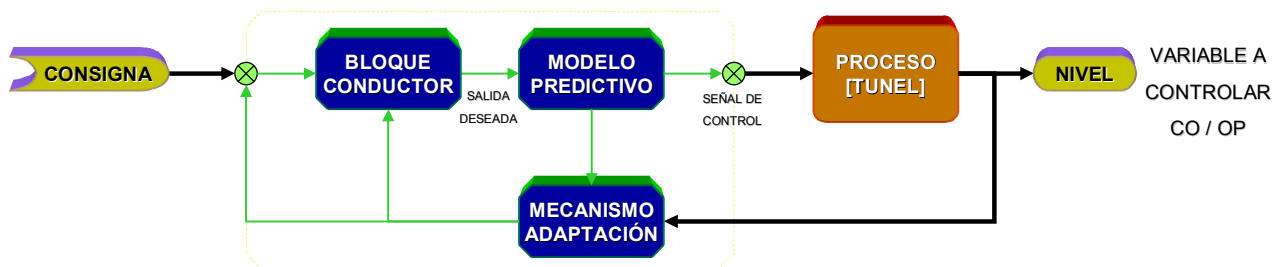
En la realidad, no se dispone en general de un modelo perfecto que desde el principio haga una predicción exacta de las salidas del proceso, y por otra parte la dinámica del proceso puede variar con el tiempo, por ello, se hace necesario un mecanismo de adaptación.

Este mecanismo corregirá el modelo a partir de sus propios errores de predicción, los cuales tienden a cero de la forma más rápida posible.

De esta manera, se llega a la formulación del sistema de control adaptativo predictivo que supone un importante avance en la resolución de la problemática del control de procesos.

4.1 Diagrama de Bloques

El diagrama de bloques del control adaptativo predictivo se representa en la siguiente figura.



En dicha figura tenemos un proceso, con la salida que deseamos controlar y la señal de control o variable que podemos manipular. El modelo predictivo predice la evolución de la variable de salida y calcula la señal de control que hace coincidir la salida predicha con la deseada. A su vez, la salida deseada es generada por el bloque conductor a partir de la consigna especificada.

En realidad, el bloque conductor calcula la trayectoria deseada a seguir por la salida del proceso para alcanzar el valor de consigna.

El mecanismo de adaptación o realimentación actúa a dos niveles.

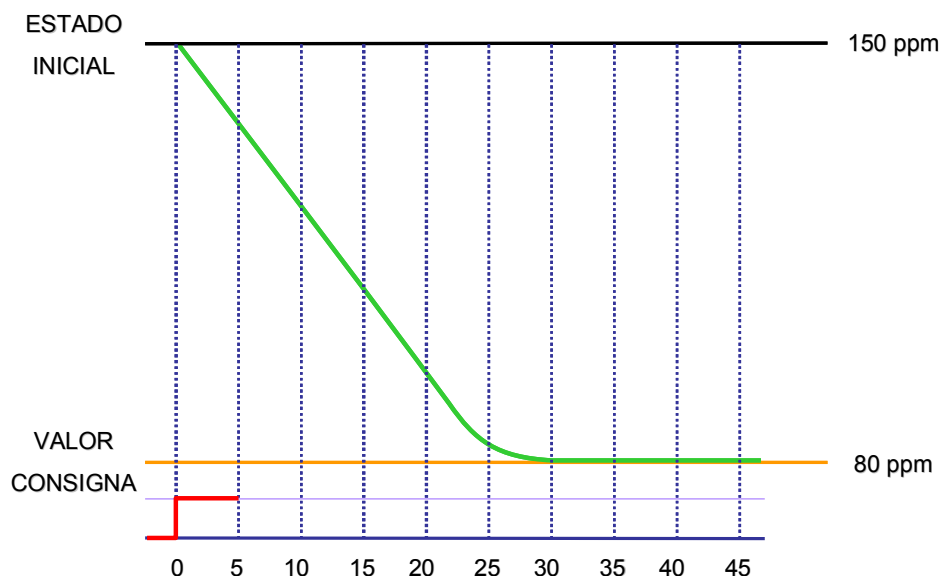
- En el primer nivel ajusta los parámetros del modelo, para hacer que el error de predicción tienda a cero de la forma más rápida posible.
- En el segundo nivel informa al bloque conductor del estado actual del proceso, y de las desviaciones del mismo con respecto a la trayectoria deseada. Esta información es utilizada por el bloque conductor para redefinir esta trayectoria deseada. Este segundo nivel de realimentación complementa al primero, y garantiza que el sistema de control responda de una manera coherente con el estado del proceso.

4.2 Ejemplo de Control Adaptativo Predictivo

Nuevamente se examina el ejemplo de la contaminación del aire en un túnel, esta vez con el control adaptativo predictivo.

La concentración de CO inicial es de 150 ppm y se desea que alcance 80 ppm lo más pronto posible y que se mantenga sobre ese valor.

El bloque conductor recibe la consigna de 80 ppm y el valor actual de 150 ppm. A partir de esa información genera la trayectoria deseada que debería seguir la concentración de CO para alcanzar los 80 ppm.

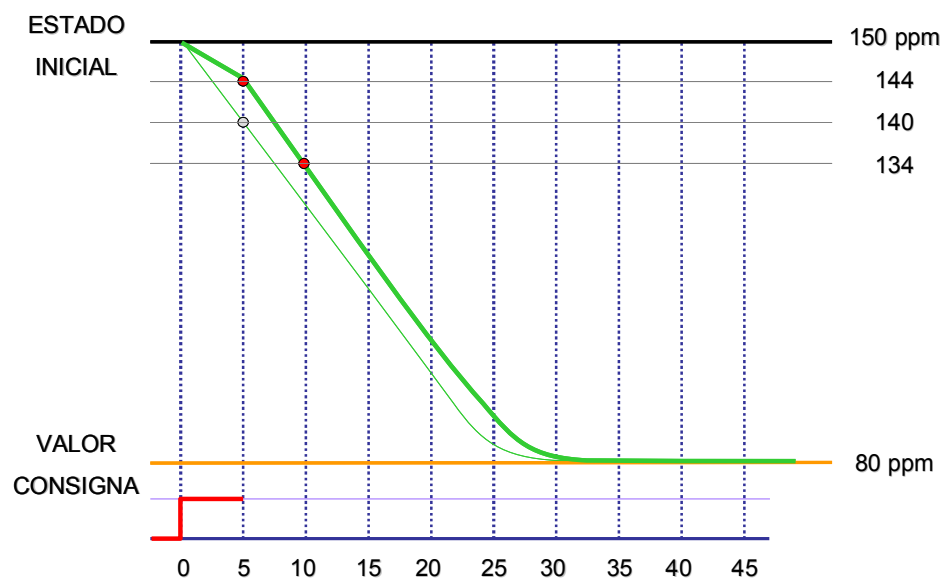


Asumiendo un período de control de 6 minutos, y de acuerdo con la trayectoria establecida, en el instante siguiente la concentración debería ser de 140 ppm.

Esta es la salida deseada para el instante siguiente, que el bloque conductor pasa al modelo predictivo, que a su vez calcula la señal de control necesaria para hacer la salida predicha igual a la deseada. Esta señal de control podría ser un caudal de aire del 80%.

El sistema aplica la señal de control quedando a la espera durante el período de control hasta recibir la próxima medición.

En el instante siguiente se observa que ha habido un error de predicción ya que la concentración de CO alcanzada no es de 140 ppm, sino que es 144 ppm. En esta situación, el mecanismo de adaptación reacciona con sus dos niveles de realimentación. El primero ajusta los parámetros del modelo para hacer que el error de predicción tienda a cero, y el segundo indica al bloque conductor que el nuevo valor de concentración de CO es de 144 ppm y no 140 ppm.



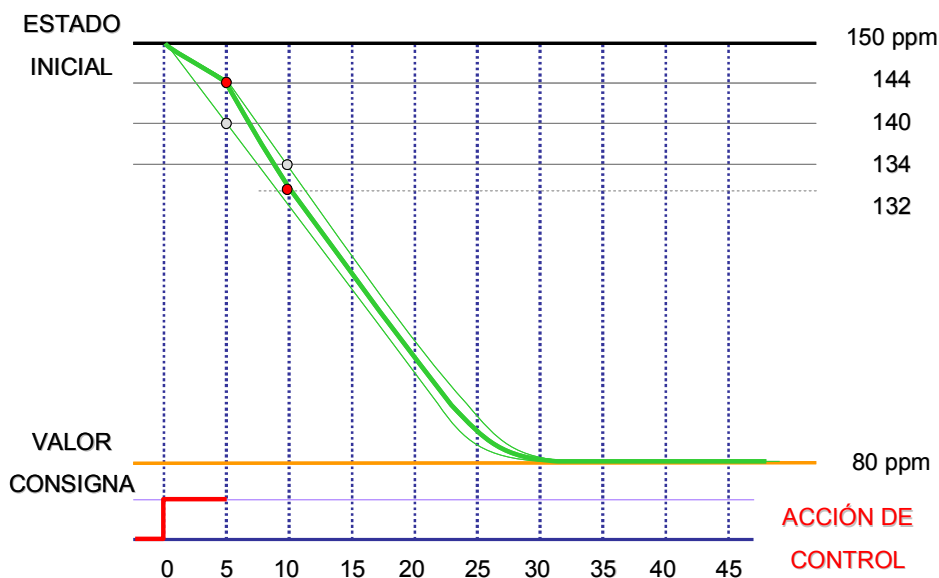
El bloque conductor genera entonces una nueva trayectoria considerando el nuevo punto de partida, 144 ppm.

Según esta nueva trayectoria, la concentración de CO en el interior del túnel debería de pasar de 144 ppm a 134 ppm.

Este último valor es el que el bloque conductor pasa al modelo predictivo para que éste calcule la nueva señal de control.

Supongamos que el modelo predictivo genera ahora una nueva señal de control que equivale a un caudal de aire del 90%. El sistema queda de nuevo a la espera para ver la respuesta.

Se observa que, al cabo de otros 6 minutos, la concentración de CO no es 134 ppm sino 132 ppm. En este caso el error de predicción cometido es por defecto no por exceso.



La reacción del sistema vuelve a repetirse en la forma que ya se ha descrito.

Gracias a la persistencia del sistema, los errores de predicción tienden rápidamente a cero, y las distintas trayectorias deseadas, generadas por el bloque conductor, tienden hacia una única que es la que acaba siguiendo la variable del proceso hasta llegar a la consigna de 80 ppm sin sobreoscilaciones.

4.3 Comparación con los Sistemas Tradicionales

Comparando la metodología de control adaptativo predictivo con la de realimentación negativa PID, se puede afirmar que la primera es una solución científica y metodológica al problema de control, capaz de conducir la variable que se controla desde un punto de partida a una consigna, a través de una trayectoria óptima y sin oscilaciones.

Por su parte, el PID es una solución bien conocida, donde hay que ajustar unos parámetros en forma manual, siendo éste siempre un ajuste puntual, es decir, en un determinado punto de operación que, desgraciadamente, variará en el curso del funcionamiento del proceso.

Siguiendo con los ejemplos sobre el control de la concentración de CO en el interior de un túnel, el buen ajuste de un PID no sería el mismo en los momentos de baja circulación, que para un tráfico intenso. Adicionalmente, si se desea una cierta eficacia en la respuesta de un PID en general no se podrán evitar oscilaciones significativas alrededor de la consigna.

5. VENTAJAS ECONÓMICAS

Además de los programas de ahorro energético que pueda llevar cualquier sistema de control, experimentalmente se ha comprobado que, en los procesos donde se ha instalado un sistema de control adaptativo predictivo, la disminución relativa del consumo energético que lleva implícito esta metodología es superior al 5% y sin que ello suponga un aumento adicional del importe de la inversión en el sistema de control.

6. CONCLUSIONES

En el presente documento se han considerado diferentes problemáticas a las que un sistema de control debe hacer frente. Se han comparado las metodologías de control tradicionales frente a la metodología de

control adaptativo predictivo, y esta última se ha mostrado claramente superior, no sólo desde el punto de vista técnico-científico, sino que además es capaz de aportar unos ahorros económicos sustanciales, bajo unos supuestos conservadores, como se ha expuesto.

Por ello, podemos considerar la metodología de control adaptativo predictivo como la idónea para realizar el control de ventilación de cualquier túnel, lo cual se ve además complementado por el hecho de que el software y hardware que la sustenta es el más adecuado para el control de las instalaciones de un túnel.