

## AJUSTE DE LOS REGULADORES

Ajustar los parámetros de un regulador a las características del proceso que se pretende regular, de forma que el resultado se aproxime tanto como sea posible al objetivo de calidad que se ha fijado previamente, representa en muchos casos un problema que resulta difícil de resolver. En esta Hoja Técnica daremos algunas indicaciones prácticas sobre esta cuestión.

### Características de los reguladores

Hoy en día todos los reguladores del mercado disponen de tres funciones de regulación: las llamadas acciones proporcional, integral y derivativa. La más importante de ellas es la proporcional y por eso la estudiaremos con un cierto detalle.

### Acción proporcional

Se llama acción proporcional aquella en la que las variaciones ( $\delta y$ ) de la magnitud regulada ( $y$ ) y las variaciones ( $\delta x$ ) de la magnitud reguladora ( $x$ ) son proporcionales, es decir:

$$\delta y = k \delta x$$

Un ejemplo sencillo de este tipo de acción se da en la figura 1, donde las variaciones de nivel en el depósito (magnitud reguladora,  $x$ ), detectadas por el flotador  $g$ , hacen variar la apertura de la válvula  $b$  (magnitud regulada,  $y$ ). Cuando el nivel desciende, la válvula abre proporcionalmente a dicho descenso.

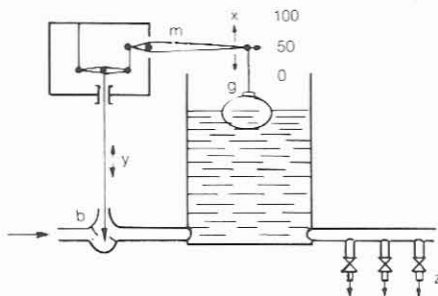


Fig. 1. - Regulación del nivel con acción proporcional.  
 Separando el flotador hacia la izquierda, se disminuye la banda de acción proporcional (BP)

Al valor  $1/k$  se le llama **banda proporcional** del regulador, y suele designarse por  $x_p$ . Una banda "estrecha" (pequeña, es decir, correspondiente a un valor grande de  $k$ ), hará abrir o cerrar completamente la válvula con pequeñas variaciones de nivel. Inversamente, una banda ancha ( $k$  pequeño), produce variaciones pequeñas de la magnitud regulada (apertura de la válvula) para varia-

ciones relativamente grandes del nivel (magnitud reguladora).

La regulación proporcional tiene el inconveniente de permitir una cierta diferencia permanente (llamada **separación residual**) entre el valor prefijado de la magnitud regulada y el valor real. En efecto, en la figura 1 se observa que, si se produce un aumento en el caudal de salida, con una consiguiente disminución del nivel, el flotador  $g$  actuará sobre la válvula haciendo aumentar el caudal entrante hasta que sea igual al saliente, pero cuando se ha alcanzado de nuevo la igualdad entre los caudales el flotador está obviamente a un nivel más bajo que al principio, pues su unión a la válvula es rígida.

Si se intenta poner remedio al problema acortando el brazo de palanca del flotador (es decir, estrechando la banda de proporcionalidad), de forma que a pequeñas variaciones del nivel correspondan grandes variaciones de la apertura de la válvula, se limitará la separación residual, pero a costa de introducir en el sistema oscilaciones que muchas veces serán intolerables (fig. 2).

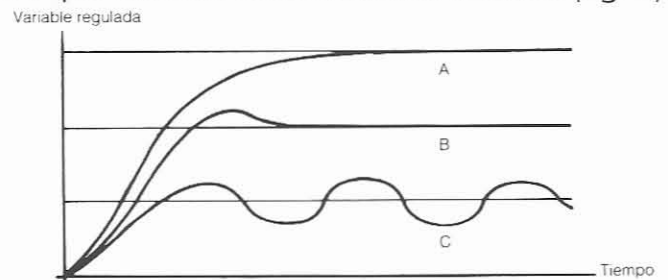


Fig. 2. - Características de las regulaciones obtenidas únicamente con la acción proporcional.  
 A, B, C corresponden a valores decrecientes de BP (banda de acción proporcional).

### Acción integral

En la figura 3 se representa un regulador que no tiene el inconveniente de la separación residual.

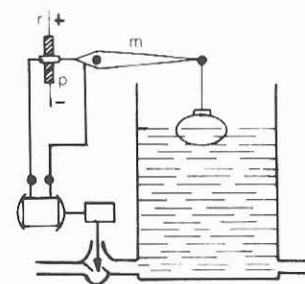


Fig. 3.

En él, la válvula de regulación está accionada por un motor de corriente continua cuya velocidad de rotación es proporcional a la tensión aplicada, por lo cual una separación del contacto deslizante  $p$  de la posición de equilibrio determina el cierre o abertura de la válvula con una velocidad proporcional a dicha separación.

Este regulador no permite desviaciones residuales de la magnitud regulada. En efecto, supongamos que el nivel descienda a causa de un aumento del caudal; el contacto deslizante del reostato  $r$  se separará hacia lo alto, haciendo girar el motor en el sentido de abrir la válvula, que continuará abierta mientras el contacto  $p$  no regrese al centro del reostato. Pero, por inercia, esta posición se verá probablemente sobrepasada, produciéndose oscilaciones.

A este tipo de acción reguladora se la llama acción integral, porque las variaciones de la magnitud regulada son proporcionales a la integral de las variaciones de la magnitud reguladora.

La magnitud de la acción integral puede modificarse ajustando el **tiempo de integración**  $T_i$  del regulador. Un tiempo de integración pequeño hace que el regulador se comporte como si fuera solamente proporcional; si el tiempo de integración, en cambio, es elevado, la regulación es "perezosa" y el sistema evoluciona lentamente hacia la estabilidad (figura 4).

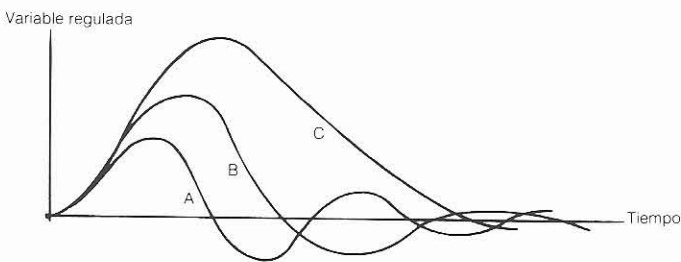


Fig. 4. - Características de la regulación obtenidas con las acciones proporcional e integral  
A, B, C corresponden a valores crecientes de  $T_i$  (tiempo de integración)

### Acción derivativa

La **acción derivativa** aporta velocidad de respuesta a la regulación. La magnitud de la acción derivativa se ajusta actuando sobre el **tiempo de acción derivativa**  $T_D$  del regulador. Si la acción derivativa es demasiado intensa el sistema tiende a oscilar alrededor de su punto de equilibrio.

## ELECCION DE LOS PARAMETROS DEL REGULADOR

Para ajustar un regulador sin efectuar ensayos previos puede utilizarse el siguiente método, basado en la regla de Ziegler y Nichols.

Para ello se ajusta el valor del punto de consigna ("set point") del regulador al valor de trabajo (la temperatura deseada, por ejemplo) y se adoptan valores nulos para la anchura de la banda proporcional, el tiempo de integración  $T_i$  y el tiempo de acción derivativa  $T_D$  y se deja al aparato regular el sistema, observándose la evolución de la variable regulada, preferentemente con la ayuda de un registrador gráfico. De este modo la respuesta del sistema presentará unas oscilaciones alrededor del punto de consigna  $S_p$  (figura 5).

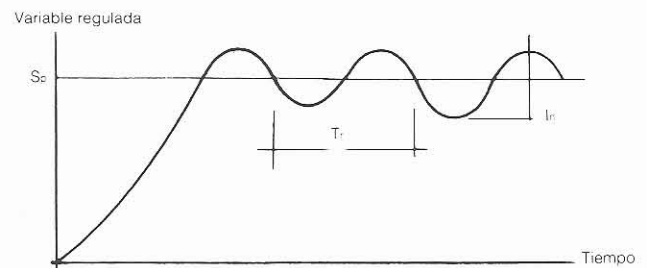


Fig. 5. - Ensayo previo al ajuste del regulador.

A continuación se anotan los valores de la amplitud pico a pico ( $I_n$  en la figura 5) y del período de oscilación ( $T_r$ ). Estas dos operaciones pueden hacerse también, sin emplear un registrador, empleando el display digital del que van equipados la práctica totalidad de los reguladores del mercado. Para ello se anotan los valores máximo y mínimo de la variable regulada (cuya diferencia es  $I_n$ ) y, mediante un cronómetro, se mide el tiempo que separa dos máximos sucesivos; este tiempo será  $T_r$ .

A continuación se calculan los valores a adoptar para  $X_p$ ,  $T_i$  y  $T_D$  de acuerdo con lo indicado en la tabla siguiente:

Modo de funcionamiento	$X_p$	$T_i$	$T_D$
P	$I_n$	0	0
P. I.	$1,2 I_n$	$0,75 T_r$	0
P. I. D.	$0,8 I_n$	$0,5 T_r$	$0,1 T_r$

P = proporcional

I = integral

D = derivativo