

metros del sistema y en el medio son significativas, un sistema, para ser satisfactorio, ha de tener capacidad de adaptación. Adaptación implica la capacidad de autoajustarse o automodificarse de acuerdo con las modificaciones imprevisibles del medio o estructura. Los sistemas de control que tienen algún grado de capacidad de adaptación (es decir, el sistema de control por sí mismo detecta cambios en los parámetros de planta y realiza los ajustes necesarios en los parámetros del controlador, para mantener un comportamiento óptimo), se denominan *sistemas de control adaptable*.

En un sistema de control adaptable, las características dinámicas deben estar identificadas en todo momento, de manera que los parámetros del controlador pueden ajustarse para mantener un comportamiento óptimo. (De este modo, un sistema de control adaptable es un sistema no estacionario). Este concepto resulta muy atractivo para el diseñador de sistemas, ya que un sistema de control adaptable, además de ajustarse a los cambios ambientales, también lo hace ante errores moderados del proyecto de ingeniería o incertidumbres, y compensa la eventual falla de componentes menores del sistema, aumentando, por tanto, la confiabilidad de todo el sistema.

Sistemas de control con aprendizaje. Muchos sistemas de control que aparentemente son de lazo abierto, pueden convertirse en sistemas de lazo cerrado si un operador humano se considera como un controlador, que compara la entrada y la salida y realiza las acciones correctivas basadas en la diferencia resultante o error.

Si se intenta analizar tales sistemas de control de lazo cerrado con intervención humana, se encuentra el difícil problema de plantear ecuaciones que describan el comportamiento del operador humano. En este caso, uno de los muchos factores que lo complican, es la capacidad de aprendizaje del ser humano. A medida que éste va adquiriendo experiencia, mejora como elemento de control, y esto debe tomarse en cuenta al analizar el sistema. Los sistemas de control con capacidad para aprender reciben el nombre de *sistemas de control con aprendizaje*. En la literatura se encuentran avances recientes en aplicaciones de control adaptable y con aprendizaje.

Clasificación de sistemas de control. Los sistemas de control pueden clasificarse de diversos modos. A continuación se señalan algunos.

Sistemas de control lineales versus no lineales. En rigor, la mayoría de los sistemas físicos no son lineales en varios sentidos. Sin embargo, si la extensión de variaciones de las variables del sistema no es amplia, el sistema puede linealizarse dentro de un rango relativamente estrecho de valores de las variables. Para sistemas lineales, se aplica el principio de superposición. Aquellos sistemas a los que no es aplicable este principio, son los sistemas no lineales. (En el capítulo 2 se dan más detalles sobre sistemas lineales y no lineales).

Obsérvese que en algunos casos se introducen intencionalmente elementos no lineales al sistema de control para optimizar su comportamiento. Por ejemplo, los sistemas de control de tiempo óptimo utilizan sistemas de control de sí-no; muchos sistemas de control de misiles y de aeronaves usan también controles de encendido-apagado.

Sistemas de control invariante en el tiempo versus control variable en el tiempo. Un sistema de control invariante en el tiempo (sistema de control con coeficientes constantes) es aquel en el que los parámetros no varían en el tiempo. La respuesta de tal sistema es independiente del tiempo en el que se aplica la entrada. En cambio, un sistema de control variable en el tiempo es aquel en el cual los parámetros varían con el tiempo; su