

# Reseña de Libro

## Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con Matlab, Ricardo Hernández Gaviño Editorial Pearson Prentice Hall, 2010, 528 páginas, ISBN 978-607-442-842-1

Introducción a los sistemas de control es un libro fundamental para un curso introductorio y multidisciplinario enfocado tanto en el control de procesos como en la automatización de sistemas. El texto está dirigido a estudiantes de diferentes licenciaturas que incluyen la materia de Teoría de control.

El objetivo del autor fue elaborar un libro de texto con un enfoque muy práctico que, además, cubriera adecuadamente el aspecto teórico. El libro incluye diversos módulos para implementar prototipos con los cuales es posible construir y ajustar diferentes tipos de controladores.

Aunque las ecuaciones y los conceptos que se presentan en esta obra están respaldados por su fundamento matemático, también se concede gran importancia a la interpretación física del concepto analítico implicado.

La primera parte del texto introduce los conceptos esenciales propios del área sin dejar a un lado el aspecto práctico. Mediante dos prototipos que se presentan en el capítulo 1, el estudiante encontrará gran satisfacción en construir sus primeros sistemas autorregulables. Los diversos capítulos tratados están avalados por un sólido respaldo matemático, el cual se expone desde una perspectiva diferente a la convencional, esto es, la herramienta matemática se explica desde un punto de vista físico. Este enfoque implica un paso trascendental en la interpretación de las ecuaciones y sobre todo, de los resultados obtenidos. De esta forma, el estudiante podrá desarrollar la habilidad de relacionar la aparente frialdad de la abstracción matemática con una lógica en la interpretación física correspondiente; esto supone una transición de gran relevancia para comprender la aplicación de las matemáticas desde el punto de vista de la ingeniería.

Un factor adicional de esta obra radica en la inclusión, casi en la totalidad de los capítulos que la conforman, de la importante herramienta *Simulink* de MatLab, no sólo en el caso de los conceptos primarios, sino también para procesos y sistemas automáticos. A continuación, se expone el contenido de cada uno de los capítulos.

### Capítulo 1. Introducción a los sistemas de control.

Este capítulo presenta la notación y el vocabulario propios de la materia, así como los conceptos generales. En este capítulo se evitan tanto el lenguaje matemático como la introducción de ecuaciones; sin embargo, se da gran relevancia a la aplicación práctica mediante amplificadores operacionales con la finalidad de llevar a cabo la construcción de dos diferentes tipos de controles: sí-no (para obtener un sistema automático de iluminación) y un sistema de control automático de velocidad de un motor de CD ajustable según las necesidades del usuario, mediante variaciones de ganancia.

**Capítulo 2. Transformada de Laplace.** La herramienta indispensable utilizada en el análisis de los sistemas de control desde el punto de vista clásico es la transformada de Laplace; en este capítulo se expone el tema correspondiente dando gran importancia a la interpretación física de dicha herramienta matemática. Una vez que el estudiante haya adquirido el concepto de la transformación, así como su correspondiente significado físico, la simulación con MatLab le resultará altamente motivante.

**Capítulo 3. Modelos matemáticos de sistemas físicos.** Este capítulo fue escrito pensando en darle una gran importancia y aplicación al control en los muy diversos campos de la ingeniería. Además, contiene la esencia del trascendental paso de representar un modelo físico hacia su correspondiente equivalente matemático; para entonces, el estudiante habrá adquirido la habilidad suficiente para sortear con éxito la representación de la abstracción matemática de su equivalente físico. El capítulo contiene una amplia diversidad de modelos, así como atrasos de tiempo y no linealidades. En esta sección se introduce la herramienta de MatLab *Simulink*, una herramienta mediante la cual es posible representar a manera de bloques un conjunto de ecuaciones diferenciales interactuantes (en el dominio del tiempo), o bien, funciones de transferencia a manera de bloques (propias del dominio "s").

**Capítulo 4. Reducción de sistemas.** En este capítulo se analiza el importante concepto de obtener la función de transferencia de lazo cerrado  $T(s)$  mediante el método de Mason aplicado a los diagramas de flujo de señales. Además, se trata el tema del álgebra de bloques, la cual tiene como finalidad reducir a un solo bloque un conjunto de funciones de transferencia individuales.

**Capítulo 5. Características de respuesta de los sistemas.** Los sistemas pueden catalogarse desde muy diversos puntos de vista; en este capítulo dicha clasificación se llevará a cabo con respecto al orden de la ecuación diferencial que define al sistema. Dependiendo del orden de la ecuación diferencial, la respuesta del sistema tendrá características propias, por lo que en cada caso se incluirán los parámetros propios de cada configuración. La teoría de control clásica establece que todo sistema de orden superior, en algunos casos, puede aproximarse a comportamientos propios de sistemas de segundo orden, por lo cual se tratan los modelos que pueden o no ser representados como sistemas de orden dos. El capítulo continúa con una herramienta de modelado de sistemas, con la cual, si se tiene acceso a la respuesta en tiempo de un determinado sistema (mediante una tarjeta de adquisición de datos), se procede a presentar diversas técnicas para llegar a obtener una aproximación matemática de la función de transferencia de lazo cerrado  $T(s)$  del modelo real, independientemente de su grado.

**Capítulo 6. Criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz.** Este capítulo se inicia con la presentación del método propuesto por Routh-Hurwitz, el cual se caracteriza por ser una herramienta de muy fácil aplicación para determinar la estabilidad absoluta de polinomios característicos de grado  $n$  relacionados con los denominadores de funciones de transferencia de lazo cerrado  $T(s)$ , incluso para sistemas en los cuales la ganancia  $K$  se hace variar en un intervalo específico de valores. El capítulo continúa con la presentación del importante concepto de lugar geométrico de raíces (LGR), procedimiento de gran relevancia para el diseño de sistemas de control en régimen transitorio.

**Capítulo 7. Análisis de error y sensibilidad.** Una característica propia de las configuraciones de control es la relacionada con el error de estado estable que presentan los sistemas para diversas clases de entradas y de acuerdo con el tipo de sistema empleado. En este capítulo se procede a cuantificar dicho error, tanto para sistemas sin retroalimentación como con retroalimentación unitaria. En esta sección se introduce y desarrolla el concepto de la sensibilidad del sistema para variaciones de sus parámetros, para así proceder a cuantificar dicha sensibilidad.

**Capítulo 8. Modos de control y diseño de controladores.** Una vez que se ha diseñado un sistema de control, puede suceder que el comportamiento de la configuración presente características no deseadas en su régimen transitorio y/o en su error de estado estable. Por esa razón, es necesario adicionar al sistema un elemento que trate de corregir dichas desviaciones. En este capítulo se procede a definir los diferentes modos de control, como son las acciones proporcional, integral y derivativa, así como combinaciones entre éstos para formar los controladores: Proporcional-Integral (P-I), Proporcional-Derivativo (PD) y Proporcional-Integral-Derivativo (PID).

**Capítulo 9. Curva de márgenes de ganancia y márgenes de fase.** Este capítulo inicia una innovadora herramienta para la optimización del análisis y diseño de los sistemas de control: curvas de márgenes de ganancia y márgenes de fase (GMPMC). La característica principal de esta nueva herramienta, es que presenta diversas particularidades y aplicaciones, tales como análisis de sistemas en rangos infinitos de variaciones de ganancias, sintonización individualizada de ganancia para cada configuración específica en vez de utilizar métodos generalizados. La calibración de cada sistema se lleva a cabo comparando las características de comportamiento introducidas por el usuario con respecto a las particularidades y limitaciones propias de cada configuración. Una aplicación adicional del método presentado consiste en aproximar polinomios de grados superiores a polinomios de segundo grado, teniendo implícito el compromiso de que tal aproximación tenga el mismo margen de fase del sistema original. Puesto que la aproximación de segundo grado se lleva a cabo en rangos infinitos de ganancia  $K$ , la elección de la ganancia dependerá de la frecuencia de operación deseada. Una última característica del método presentado de aproximación polinómica es que tal reducción se lleva a cabo tanto en la salida final como en las variables de salida intermedias; su principal aplicación es en el análisis de espacio de estado. El capítulo finaliza con dos archivos *m* para obtener el comportamiento total de un sistema en función de la CMGMF y para aplicar reducción polinómica.

Este libro busca ser una introducción para los interesados en aprender lo relativo del control automático, tratando de explicar los diversos conceptos de una manera simple y directa. El capitulado del libro fue organizado y elaborado de tal manera que sea una guía útil para que el alumno adquiera la motivación necesaria para adentrarse en el área del control automático.