

Profesor: Miguel Torres T. (mtorrest@ing.puc.cl)
Horario/Sala: Clases: L, W:3 / Sala: B14.
Ayudantías: V:3 / Sala: B14.
Horas de Oficina: Previo acuerdo por e-mail.

I) Descripción: El control automático de sistemas tiene por objetivo garantizar que los sistemas logren los propósitos y el desempeño para los cuales fueron diseñados, por ejemplo, en términos de calidad, rendimiento, costos de operación y seguridad. Este curso entrega los métodos básicos para describir sistemas a través de modelos matemáticos continuos y discretos, analizar sus propiedades y diseñar controladores que aseguren un cierto desempeño. Las herramientas de análisis y diseño incluyen: i) modelación en base a funciones de transferencia y diagramas de bloques, ii) modelación en el espacio de estados, iii) análisis en el dominio del tiempo, iv) análisis en el dominio de la frecuencia, v) estudio del lugar de las raíces, vi) diseño de controladores en el dominio del tiempo y de la frecuencia, vii) introducción al control óptimo LQR y la estimación óptima empleando filtros de Kalman.

II) Pre-requisitos: IEE 2103 Análisis de Señales.

III) Objetivos:

El curso tiene por objetivos principales:

1. Introducir al alumno en los diversos conceptos de control automático relacionando la teoría de control a sus aplicaciones en la automatización de procesos y sistemas industriales, como, por ejemplo, procesos químicos, procesos de manufactura, sistemas aeronáuticos, eléctricos, mecánicos y robóticos, entre otros.
2. Enseñar a desarrollar modelos matemáticos que permitan describir el comportamiento dinámico de diversos sistemas y analizar sus propiedades de estabilidad, controlabilidad y observabilidad.
3. Entregar las técnicas matemáticas necesarias para analizar las propiedades de estabilidad, controlabilidad y observabilidad de procesos o sistemas dinámicos.
4. Enseñar a diseñar controladores que permitan modificar el comportamiento dinámico y características de estabilidad de procesos físicos según los requerimientos de la aplicación.
5. Dar a conocer las herramientas computacionales para el análisis, diseño y operación de sistemas de control.

IV) Resultados según los Objetivos del Curso:

Al final del curso el alumno será capaz de:

1. Desarrollar modelos matemáticos que describan el comportamiento dinámico de diversos sistemas o procesos físicos.
2. Entender los conceptos de equilibrio, punto de operación, estabilidad, controlabilidad, observabilidad y la teoría matemática empleada en el análisis y diseño de sistemas de control.
3. Diseñar controladores retro-alimentados análogos y digitales que modifiquen el desempeño dinámico de un sistema y garanticen cierto comportamiento y características de estabilidad y respuesta en frecuencia.
4. Comprender por qué el control automático es útil en diversas áreas de la ingeniería.
5. Identificar aquellos sistemas que son más fáciles o difíciles de controlar y las herramientas que se requieren para diseñar un control estabilizante.
6. Reconocer la importancia de la integración del diseño del control en el diseño del proceso.
7. Emplear herramientas de software para la modelación, simulación y diseño de sistemas de control.

V) Contenidos:

1. **Introducción:**
 - a. Nociones básicas.
 - b. Historia del control automático.
 - c. Ejemplos de aplicación.

2. **Modelos matemáticos:**
 - a. Modelos de tiempo continuo. (ecuaciones diferenciales).
 - b. Modelos de tiempo discreto (ecuaciones de diferencias).
 - c. Función de Transferencia.
 - d. Función de Transmitancia.
 - e. Variables de estado de un sistema dinámico.
 - f. Linealización.
 - g. Diagramas de Bloques.
 - h. Discretización de sistemas de tiempo continuo.
3. **Características de sistemas de control realimentado:**
 - a. Sistemas en lazo abierto y lazo cerrado.
 - b. Perturbaciones y variables manipuladas.
 - c. Respuesta transitoria.
 - d. Régimen permanente.
 - e. Estabilidad en el dominio del tiempo.
4. **Análisis de sistemas realimentados lineales:**
 - a. Especificaciones en el dominio del tiempo.
 - b. Plots y respuesta transitoria.
 - c. Error en régimen permanente.
 - d. Cifras de mérito.
5. **Estabilidad de sistemas realimentados lineales:**
 - a. Estabilidad.
 - b. Criterio de Routh-Hurwitz.
 - c. Lugar de las raíces en el plano s .
6. **Método del lugar de las raíces:**
 - a. Concepto de lugar de las raíces.
 - b. Diseño del lugar de las raíces.
 - c. Determinación de parámetros utilizando lugar de las raíces.
7. **Métodos de respuesta de frecuencia:**
 - a. Gráficos de respuesta de frecuencia: Bode, Nyquist y Nichols.
 - b. Especificación en el dominio de la frecuencia.
8. **Estabilidad en el dominio de la frecuencia:**
 - a. El criterio de Nyquist. Estabilidad relativa.
 - b. Respuesta de frecuencia en lazo cerrado.
 - c. Estabilidad de sistemas con retardo.
9. **Diseño y compensación de sistemas de control realimentado:**
 - a. Análisis en diagramas de Bode.
 - b. Análisis en el plano s .
 - c. El controlador PID y las acciones proporcional, integral y derivativa.
 - d. Sintonía de controladores PID.
 - e. Diseño usando métodos computacionales: el controlador PID digital.
 - f. Diseño de sistemas de control en el dominio del tiempo.
 - g. Realimentación por variables de estado.
10. **Control avanzado:**
 - a. Control multivariable.
 - b. Filtro de Kalman.
 - c. Diseño en el espacio de estado.
 - d. Controladores óptimos: LQR.
11. **Ejemplos de aplicaciones:**
 - a. Control de sistemas aerodinámicos.
 - b. Aplicaciones industriales.
12. **Software para diseño de sistemas de control:**
 - a. WinPython.
 - b. Otros: MATLAB/Simulink, Octave y SciLab.

VI) **Evaluación:** La evaluación se realizará en base a las actividades en clases, una interrogación, un examen, y la nota del proyecto. La nota final NF se calcula como:

$$NP = 0.3 I + 0.3 EF + 0.2 P + 0.2 A$$
$$NF = \begin{cases} NP; & \min(I, EF, P, A) \geq 4.0 \\ \min(NP, 3.9); & \sim \end{cases},$$

donde NP es la nota promedio, I es la nota de la interrogación de medio semestre, EF es la nota del examen final, P es la nota del proyecto, y A es la nota de las actividades en clases.

Fechas Interrogaciones: {Interrogación medio semestre: W27/09} @ 18:30 sala por confirmar — {EF: J30/11} @ 09:00 sala B11.

No se podrán rendir pruebas fuera de la fecha indicada. No se podrá aprobar sin rendir la interrogación o el examen.

Asistencia: La asistencia a clases es obligatoria, no se podrá aprobar el curso con una asistencia inferior al 80%, en dicho caso la nota final se calculará como $\min(NF, 3.9)$.

VII) **Página Web del Curso:** En la página de Google Classroom:

(<https://classroom.google.com/u/2/c/NDQ3NjA5MDcyMlpa>), se publicarán los apuntes, tareas, notas e información de utilidad del curso.

VIII) **Bibliografía:**

Mínima:

- [1] Apuntes y Guía de Ejercicios del Curso, Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [2] R. Dorf, R. R. Bishop. *Modern Control Systems*. 12ª ed., Prentice Hall, 2010.
Ejercicios: www.prenhall.com/dorf/.
- [3] G. K. Franklin, J. D. Powell, A. Emami-Naemi. *Feedback Control of Dynamic Systems*. 6ª ed., Prentice Hall, 2009.
- [4] G. C. Goodwin, S. F. Graebe, M. E. Salgado. *Control system Design*. Prentice Hall, 2000.
Ejercicios: <http://www.csd.newcastle.edu.au/exercises.html> (incluye ejercicios resueltos).

Complementaria:

- [5] G. K. Franklin, J. D. Powell, M. L. Workman. *Digital Control of Dynamic Systems*. 3ª ed, 1997.
- [6] B. C. Kuo, F. Golnaraghi. *Automatic Control Systems*. 8ª ed., Wiley, 2002.
- [7] K. Ogata. *Modern Control Engineering*. 5ª ed., Prentice Hall, 2009.
- [8] N. S. Nise. *Control Systems Engineering*. 6ª ed., Wiley, 2010.
- [9] W. A. Wolovich. *Automatic Control Systems: Basic Analysis and Design*. 1ª ed. Oxford University Press, 1993.
- [10] P. Bélanger. *Control Engineering: A modern approach*. Saunders College Publishing, 1995.

IX) **Software de Modelación/Simulación/Diseño:**

Python+numpy+scipy+matplotlib: WinPython 3.5.x <https://winpython.github.io/>
Scilab (gratis): <http://www.scilab.org/>
Octave (gratis): <http://www.gnu.org/software/octave/>
Matlab: <http://www.mathworks.com/products/studentversion>
Ch Control System Toolkit: <http://www.softintegration.com/products/toolkit/control/>
GNU Scientific Library (gratis): <http://www.gnu.org/software/gsl/>
GiNaC C++ Computer Algebra Library (gratis): <http://www.ginac.de/>
Maple <http://www.maplesoft.com>
Mathematica <http://www.mathematica.com>