

Profesores: Daniel Calabi (dacalabi@uc.cl), Alvaro Soto (asoto@ing.puc.cl), Miguel Torres (mtorrest@ing.puc.cl), Giancarlo Troni (gtroni@ing.puc.cl).
Horario: Martes: 14:00-16:50 (cátedra/actividad), Viernes 15:30-16:50 (actividad/taller).
Sala: Lab. de Electrónica y Robótica (edif. Ciencia y Tecnología), opcionalmente H2 solo M:4-5.

I) **Descripción:** Este curso tiene por objetivo presentar una introducción general a los sistemas robóticos, sus componentes, sus aplicaciones, así como las nociones y herramientas fundamentales de las áreas de computación, electrónica y mecánica para el análisis y diseño de sistemas robóticos. El curso explica los mecanismos básicos, el funcionamiento de actuadores y sensores, la modelación cinemática y dinámica, las técnicas de control de movimiento y razonamiento, incluyendo aspectos esenciales de planificación y seguimiento de trayectorias, de navegación, y de algoritmos de percepción sensorial. El curso también enseña el uso de herramientas de diseño mecánico y electrónico, de simulación, y de programación, a través de actividades prácticas.

II) **Pre-requisitos:** MAT1620 Cálculo II, FIS1513 Estática y Dinámica.

III) **Objetivos:**

1. Presentar diversos sistemas robóticos, sus áreas de aplicación y desafíos actuales.
2. Entregar nociones fundamentales sobre los componentes esenciales: estructura, mecanismos, actuadores y sensores, electrónica, algoritmos y software.
3. Introducir los principios de modelación de la cinemática y dinámica del movimiento de robots.
4. Introducir los algoritmos básicos para resolver tareas como la planificación y seguimiento de trayectorias, estimación de pose y localización, percepción del entorno y navegación.
5. Capacitar al alumno en los fundamentos del diseño e implementación de sistemas robóticos para automatización de procesos industriales, aplicaciones científicas o de uso personal.
6. Comprender el funcionamiento de los sistemas a través de actividades prácticas de construcción de prototipos a escala.
7. Exponer a los alumnos a los desafíos de desarrollo e integración de subsistemas que presenta la construcción de un sistema robótico autónomo.
8. Desarrollar habilidades analíticas, creativas y prácticas de construcción de prototipos necesarias para la implementación de sistemas robóticos reales.
9. Desarrollar en el alumno habilidades de trabajo en equipo y creatividad en la resolución de problemas de ingeniería.

IV) **Resultados según los Objetivos del Curso:**

Al final del curso el alumno será capaz de

1. Conocer diversos sistemas robóticos y comprender tanto sus aplicaciones, como las componentes involucradas y su funcionamiento.
2. Comprender el funcionamiento de distintos componentes de hardware (computadores embebidos, actuadores, sensores, mecanismos), así como seleccionar los más adecuados de acuerdo a las especificaciones y requerimientos de la aplicación particular.
3. Plantear un proceso de diseño y construcción de un robot, identificando y planificando las diversas etapas.
4. Desarrollar modelos básicos de sistemas robóticos.
5. Programar algoritmos básicos de percepción y control en un microcontrolador o computador embebido.
6. Simular a nivel básico el funcionamiento de robots y sus algoritmos de percepción y control.
7. Construir prototipos a escala.

8. Verificar a través de las simulaciones y pruebas con los prototipos construidos que el sistema cumple las especificaciones de diseño.
9. Formular soluciones de ingeniería a problemas específicos presentes el desarrollo de sistemas robóticos autónomos.
10. Tener una visión de los últimos avances técnicos de la robótica y las perspectivas de su desarrollo futuro.

V) Contenidos:

1. Definición, historia, aplicaciones y valorización de sistemas de automatización y robóticos.
2. Etapas del proceso de diseño, modelación y construcción.
3. Componentes de sistemas robóticos: estructura y transmisiones mecánicas, sistemas de movimiento y propulsión, actuadores (motores eléctricos, neumáticos, hidráulicos), sensores de posición, velocidad y aceleración, y sensores visuales.
4. Modelación cinemática y dinámica del movimiento.
5. Algoritmos de control.
6. Navegación: planificación de trayectorias, localización, y mapeo.
7. Visión por computador y percepción del entorno.

VI) Metodología: Clases teóricas, tareas (grupales e individuales) y sesiones guiadas de laboratorio desarrolladas en grupo. El aprendizaje se estructurará en torno a módulos de aprendizaje, los cuales dispondrán de apuntes, guías de aprendizaje y material de apoyo complementario.

VII) Plan de Aprendizaje: El plan de aprendizaje se resume en la siguiente tabla.

Semana	Módulo y Descripción	Profesor
1 - 9/03	Introducción Presentación del curso, objetivos y profesores	DC, AS, MT, GT
	Componentes Mecánicos de Sistemas Robóticos Tarea 1: Diseño	DC
1	<i>Taller: Inventor</i>	-
2	Actuadores y Sensores Puente H	DC
2	<i>Taller: Puente H + Python + OpenCV</i>	DC
3 - 23/03	Control de Robots – Parte I Control realimentado de robots basado en controles PID (aplicaciones a robots móviles y/o brazos robóticos).	GT
3	<i>Taller: Sistemas retroalimentados, lazo abierto</i>	GT
4	Control de Robots – Parte II Control realimentado de robots basado en controles PID (aplicaciones a robots móviles y/o brazos robóticos).	GT
4	<i>Taller: Sistemas retroalimentados, control P</i> Tarea 2: Teoría de Control de Sistemas Robóticos	GT
5 - 6/04	<i>Actividad 1 Proyecto Integrador: Ensamblaje Robot y movimiento del robot con Python+OpenCV</i>	DC

7	Feriado: viernes 10/04 (Viernes Santo)	
6 - 13/04	Control de Robots – Parte III Control realimentado de robots basado en controles PID (aplicaciones a robots móviles y/o brazos robóticos).	GT
6	<i>Taller: Sistemas retroalimentados, control PID</i> Tarea 3: Implementación Métodos de Control de Sistemas Robóticos	GT
7 - 20/04	<i>Actividad 1 Proyecto Integrador: Ensamblaje Robot y movimiento del robot con Python+OpenCV</i>	DC
7	<i>Actividad 1 Proyecto Integrador: Ensamblaje Robot y movimiento del robot con Python+OpenCV</i>	DC
8	<i>Actividad 2 Proyecto Integrador: Detección, guiado visual y movimiento del robot usando OpenCV+Python+Comunicación Inalámbrica</i>	DC
8	Feriado: viernes 01/05 (Día del Trabajo)	
9 - 4/05	Nociones Matemáticas Fundamentales Sistemas de coordenadas, matrices de transformación, parámetros de Denavit-Hartenberg, cuaterniones, vectores espaciales. <i>Tarea 4: Fundamentos de Modelación de Robots</i>	MT
9	<i>Taller: Computos geométricos, vectoriales, y gráficos básicos usando Python.</i>	MT
10	Cinemática de los Robots Modelación cinemática del movimiento de brazos manipuladores y robots móviles. Cinemática directa e inversa.	MT
10	<i>Taller: Simulación Cinemática usando Python.</i>	MT
11	Dinámica de los Robots Modelación dinámica del movimiento de brazos manipuladores y robots móviles. Dinámica inversa y directa. <i>Tarea 5: Simulación de Robots</i> <i>Taller: Simulación Dinámica usando Python</i>	MT
11	Feriado: jueves 21/05 (Día de las Glorias Navales), viernes 22/05 (feriado UC)	
12-25/05	Planificación de Trayectorias Diagramas de Voronoi y gráfos de visibilidad, planificación por campos de potencial, algoritmo A*, algoritmo del insecto.	AS
12	<i>Taller: Cálculo de Trayectorias en el Simulador de Rutas Usando Python</i> <i>Tarea 6: Planeamiento de Rutas</i>	AS
13	Localización y Mapeo Localización con landmarks, localización con grillas de ocupación y métodos de Monte Carlo (MCL)/filtros de partículas. Localización y mapeo simultáneo (SLAM).	AS
13	<i>Taller: Control de posición y trayectorias</i>	AS
14	Visión por Computador Extracción de características sobresalientes. Clasificación y reconocimiento.	AS
14	<i>Taller: Percepción Visual</i> <i>Tarea 7: Percepción Visual</i>	AS
15-15/06	<i>Actividad 3 Proyecto Integrador: Control Avanzado del Robot</i>	DC
11	Feriado: viernes 19/06 (Feriado UC a partir de las 13:00 - Día del Sagrado Corazón)	
16	<i>Proyecto: Trabajo en laboratorio (26/06 - Fin Clases/Ayudantía para Clasificadoras)</i>	

16	Proyecto: Trabajo en laboratorio (26/06 - Fin Clases/Ayudantía para Clasificatorias)	DC
17	CLASIFICATORIAS Y EVALUACION FINAL (martes 30/06)	DC
17	COMPETENCIA FINAL (viernes 03/07)	DC

VIII) **Evaluación:**

La nota final (NF) se calculará según los siguientes criterios:

Si $\min(Tareas, Proyecto, Controles) \geq 4.0$ y $Cada Tarea \geq 3.0$ entonces $NF = PG$

Si $\min(Tareas, Proyecto, Controles) \geq 4.0$ y $1.0 < UNA Tarea < 3.0$ entonces $NF = \min(PG, 4.0)$

En caso contrario entonces $NF = \min(PG, 3.9)$

donde

PG corresponde al *promedio general* de notas calculado según:

$$PG = 0.55 * Tareas + 0.2 * Proyecto + 0.2 * Controles + 0.05 * Participación$$

Tareas corresponde al promedio de las notas de las tareas. La nota de cada tarea se calculará en base a criterios de desarrollo, presentación y análisis.

Proyecto corresponde al promedio de las notas de las actividades en clases y presentación final. La rúbrica de evaluación de las actividades está incluida con cada una de ellas.

Criterio	Porcentaje [%]
Actividad 1	15
Actividad 2	15
Actividad 3	15
Presentación Final	55

Controles corresponde al promedio de los controles. Existirán minicontroles de 10-15 minutos al inicio de cada clase durante todo el semestre.

Participación corresponde al promedio de los siguientes criterios:

Criterio	Porcentaje [%]
Evaluación de pares	40
Evaluación del profesor	60

IX) Aspectos Administrativos:

1. Consultas sobre la materia, tareas, deben ser comunicadas a los ayudantes o profesor a cargo de la materia o tarea correspondiente.
2. En caso de dudas en correcciones o consultas de plazo, estas deberán ser resueltas por el profesor a cargo de la materia o tarea correspondiente. Los ayudantes deberán contactar directamente al profesor a cargo de dicha materia.
3. Penalizaciones por atraso: Se descontarán 1.0 punto por día de atraso de entregas fuera del plazo. Se aceptarán tareas con un máximo de hasta 6 días de atraso. Pasado dicho periodo la nota será automáticamente 1.0.

COMPROMISO DEL CODIGO DE HONOR UC

Este curso adscribe el Código de Honor UC:

"Como miembro de la comunidad de la Pontificia Universidad Católica de Chile me comprometo a respetar los principios y normativas que la rigen. Asimismo, prometo actuar con rectitud y honestidad en las relaciones con los demás integrantes de la comunidad y en la realización de todo trabajo, particularmente en aquellas actividades vinculadas a la docencia, el aprendizaje y la creación, difusión y transferencia del conocimiento. Además, velaré por la integridad de las personas y cuidaré los bienes de la Universidad".

Lo anterior implica que todo trabajo evaluado en este curso debe ser propio. En caso de que exista colaboración permitida con otros estudiantes, el trabajo deberá referenciar y atribuir correctamente dicha contribución a quien corresponda. Como estudiante es su deber conocer la versión en línea del Código de Honor (<http://www.uc.cl/codigodehonor/el-codigo>).

X) Página Web del Curso: En esta se publicarán los apuntes del curso, tareas, notas y otras informaciones de utilidad. La página es: <https://classroom.google.com/u/0/c/Mzc0NDYyMDgxODBa>.

XI) Horario de Atención de Consultas: Previa cita agendada por e-mail.

XII) Bibliografía:

Mínima:

- [1] A. Barrientos, L. F. Peñín, C. Balaguer, R. Aracil. Fundamentos de Robótica, 2a ed., McGraw-Hill, febrero, 2007.
- [2] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, D. Scaramuzza. *Introduction to Autonomous Mobile Robots (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*, 2a ed., MIT Press, abril, 2011.
- [3] B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. Robotics: Modelling, Planning and Control, 2a ed., Springer, febrero, 2011.
- [4] Gordon McComb. *Robot Builder's Bonanza*. McGraw-Hill/TAB Electronics, 4a ed., mayo, 2011.
- [5] P. Corke. *Robotics, Vision and Control (Fundamental Algorithms in MATLAB)*, Springer, marzo, 2011.

Complementaria:

- [6] G. Dudek, M. Jenkin. *Computational Principles of Mobile Robotics*, 2nd ed., Cambridge University Press, 2010.
- [7] R. D. Klafner, T. A. Chmielewski, M. Negin. *Robotic engineering: An Integrated Approach*, Prentice Hall, abril, 1989.
- [8] J. Angeles. *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods, and Algorithms*. 3a ed., Springer, diciembre, 2006.

- [9] S. Thrun, W. Burgard, D. Fox. *Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*, MIT Press, agosto, 2005.
- [10] H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki, S. Thrun, *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*, MIT Press, junio, 2005.

XIII) Otros aspectos administrativos:

- (1) En el uso de equipamiento del laboratorio se aplican las siguientes normas:

Sobre los daños de equipamiento/instalaciones:

1. Reparaciones de daños o desperfectos por desgaste o fin de vida útil, serán pagados por el programa.
2. Reparaciones de daños por negligencia o uso indebido por parte del estudiante deberán ser pagados por el estudiante. El valor se fijará de acuerdo al precio del proveedor, más un recargo del 35% por gastos de envío e impuestos (IVA, desaduanaje, etc.). El estudiante puede subsanar la situación pagando el valor fijado o entregando un componente de reemplazo nuevo.
3. En caso que no se pueda establecer la responsabilidad de los daños, las responsabilidades serán evaluadas y determinadas por el Comité del Programa.

Sobre las responsabilidades del estudiante:

1. El alumno es responsable de conocer y entender la operación del equipamiento y las instalaciones mediante la lectura de la documentación pertinente disponible a pedido y consultas a los profesores.
2. El alumno es responsable de los daños que resulten de la operación descuidada, negligente, o desinformada del equipamiento o infraestructura aunque no exista la intención explícita de causar daños o perjuicios al equipamiento o infraestructura del Laboratorio.

- (2) La inasistencia a controles, presentaciones o entregas deberá ser justificada mediante certificado médico autorizado por Subdirección de Asuntos Estudiantiles. La nota de la inasistencia será reemplazada por la nota de un examen general teórico y práctico de todos los contenidos del curso. Inasistencias a más de un control o entrega serán evaluadas con nota 1.0.