

**Profesor:** Claudia Pincheira R.**Horario:** W: 5,6

**I) Descripción:** Este curso tiene por objetivo capacitar al alumno en el diseño de sistemas robóticos utilizando los conocimientos adquiridos en el Major en Ingeniería Robótica e integrando los fundamentos de las tres disciplinas que intervienen en dichos sistemas: mecánica, electrónica y computación. El curso busca fomentar la innovación y emprendimiento de los alumnos a través del desarrollo de un proyecto integrador que resuelva alguna necesidad actual de la industria y/o la sociedad. El alumno estudiará el proceso de diseño desde la fase de planificación hasta la construcción, aprenderá a modelar y simular sistemas robóticos, evaluará alternativas de diseño y seleccionará componentes de hardware como sensores, actuadores y computadores embebidos para control. Según los requerimientos del proyecto asignado, también será capaz de integrar los algoritmos para procesamiento e interpretación de información sensorial, percepción visual, control de movimientos, planificación de trayectorias, localización, navegación, evasión de obstáculos y otras capacidades de autonomía.

**II) Pre-requisitos:** IRB2001 Fundamentos de Robótica.

**III) Objetivos:**

1. Capacitar a los alumnos en el diseño y construcción de sistemas robóticos capaces de resolver un determinado problema o necesidad de forma novedosa e innovadora, aplicando conocimientos adquiridos en cursos de mecánica, electrónica y computación, junto con la investigación del estado del arte de las posibles soluciones.
2. Entregar conocimientos fundamentales sobre la integración de sistemas mecánicos, sensores, actuadores, electrónica y software que conforman un sistema robótico.
3. Exponer a los alumnos a los desafíos de planificación, diseño, desarrollo e integración de subsistemas que presenta la construcción de un sistema robótico autónomo con recursos y tiempo limitados.
4. Desarrollar habilidades analíticas, creativas y prácticas de construcción de prototipos necesarias para la implementación de sistemas robóticos reales.
5. Capacitar a los alumnos en la formulación de propuestas formales de proyectos tecnológicos y de documentación de su implementación y operación cumpliendo con los estándares vigentes.

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

Al final del curso el alumno será capaz de:

1. Diseñar, simular y construir sistemas robóticos y sus componentes.
2. Verificar a través de simulaciones y pruebas con los prototipos construidos que el sistema cumple las especificaciones de diseño y los estándares correspondientes.
3. Evaluar el diseño propuesto del sistema robótico utilizando modelos y simulaciones.
4. Comprender el funcionamiento de distintos componentes de hardware (computadores embebidos, actuadores, sensores, etc.), así como seleccionar los más adecuados de acuerdo a los requerimientos de la aplicación particular.
5. Implementar algoritmos para control del sistema robótico en un microcontrolador o computador embebido.
6. Verificar experimentalmente que el sistema cumple los estándares y especificaciones de diseño.
7. Formular soluciones de ingeniería a problemas específicos presentes en el desarrollo de sistemas robóticos autónomos.
8. Tener una visión de los últimos avances técnicos de la robótica, sus desafíos y las perspectivas de su desarrollo futuro.

**V) Contenidos:**

1. Formulación de propuestas de proyectos.
2. Revisión de los fundamentos teórico-prácticos del diseño de sistemas robóticos:
  - a. Fundamentos generales del diseño (consideraciones técnicas y organizativas).
  - b. Prototipado electrónico y mecánico.
  - c. Preparación de planos y manuales según estándares de ingeniería.

3. Diseño, simulación e implementación de un sistema robótico o sus componentes.

**VI) Metodología:** Los alumnos formarán grupos de tres integrantes. La evaluación del aprendizaje se realizará a partir de entregas parciales asociadas a cada etapa de un proyecto grupal de diseño y desarrollo de un sistema robótico. Cada entrega parcial tendrá asociada un informe técnico y/o presentación de los avances realizados.

**VII) Programación del curso:**

Etapa	Duración	Actividades	Fecha
Definición del proyecto	2 semanas	Tarea 1: Identificación de desafíos	16-08-2023
		Taller 1: Formulación de propuesta	16-08-2023
		Tarea 2: Formulación y estándares	23-08-2023
Planificación y Diseño	3 semanas	Taller 2: Planificación y Diseño	23-08-2023
		Tarea 3: Diseño de Alto Nivel	30-08-2023
		Reunión de realimentación	06-09-2023
		Reunión de realimentación	13-09-2023
		Tarea 4: Diseño de Bajo Nivel	13-09-2023
		Tarea 5: Planificación	13-09-2023
Prototipo Modular	4 semanas	Reunión de realimentación	20-09-2023
		Reunión de realimentación	27-09-2023
		Entrega Informe de Avance 1	11-10-2023
		Presentación Prototipo Modular	11-10-2023
Prototipo Integrado	4 semanas	Reunión de realimentación	18-10-2023
		Presentación de Avance Prototipo Integrado	25-10-2023
		Entrega Informe de Avance 2	08-11-2023
		Presentación Prototipo Integrado	08-11-2023
Producto y Documentación	4 semanas	Reunión de realimentación	15-11-2023
		Presentación de Avance Prototipo Final	22-11-2023
		Reunión de realimentación	29-11-2023
		Entrega Informe Final	06-12-2023
		Presentación Final	06-12-2023

Para mayor especificidad en los contenidos de cada etapa y actividad referirse al Anexo A del programa.

**VIII) Evaluación:**

La nota final (NF) se calcula como:

$$NF = 0.25 * DP + 0.2 * PM + 0.2 * PI + 0.3 * PF + 0.05 * NP$$

$$\text{if } PF < 4.0; \quad NF = \min\{NF; 3.9\}$$

Donde:

- **DP** es la nota obtenida en la definición, planificación y diseño del proyecto (etapas 1 y 2 del curso) que corresponde al promedio de las 5 tareas. La nota de cada tarea se calcula según:

$$NT = 6 * \frac{\text{Puntaje obtenido}}{\text{Puntaje total}} + 1 - \text{Descuentos}$$

En donde Descuentos representa descuentos por atraso, por no seguir instrucciones y/o por presentación desprolija (no cumple con una redacción técnica correcta y/o con estándares mínimos de rigurosidad, como poner referencias cuando corresponde, mostrar gráficos claros y legibles con las unidades pertinentes, no presentar faltas ortográficas y gramaticales, entre otras).

- **PM** corresponde a la nota obtenida en la etapa de Prototipado Modular que se calcula según:

$$PM = 0.4 * \text{InformePM} + 0.6 * \text{PresentaciónPM}$$

- **PI** corresponde a la nota obtenida en la etapa de Prototipo Integrado que se calcula como:

$$PI = 0.2 * \text{PresentaciónAvancePI} + 0.3 * \text{InformePI} + 0.5 * \text{PresentaciónPI}$$

- **PF** corresponde a la nota de la etapa de Producto Final y se calcula según:

$$PF = 0.15 * \text{PresentaciónAvancePF} + 0.35 * \text{InformeFinal} + 0.5 * \text{PresentaciónFinal}$$

$$\text{if } \text{PresentaciónFinal} < 4.0; \quad PF = \min\{PF; 3.9\}$$

$$\text{if } \text{InformeFinal} < 4.0; \quad PF = \min\{PF; 3.9\}$$

**Es requisito que el proyecto funcione y cumpla con las especificaciones para que la Presentación Final sea mayor o igual a 4.0.**

- **NP** corresponde a la nota de participación en el curso. Está definida por una evaluación de pares (NC), una evaluación de los profesores (NPr) y la cantidad de veces en que fue respondida la Encuesta de Carga Académica a lo largo del semestre (NE):

$$NP = 0.3 * NC + 0.4 * NPr + 0.3 * NE$$

Si no se implementa la Encuesta de Carga Académica en el semestre en el que se dicta el curso, la nota de participación se calcula como:

$$NP = 0.4 * NC + 0.6 * NPr$$

**IX) Aspectos Administrativos:****COMPROMISO DEL CODIGO DE HONOR**

Este curso adscribe el Código de Honor establecido por la Pontificia Universidad Católica de Chile el que es vinculante. 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>).

- (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 departamento.
2. Reparaciones de daños por negligencia o uso indebido por parte del estudiante deberán ser pagados por el estudiante.
3. En caso que no se pueda establecer la responsabilidad de los daños, las responsabilidades serán evaluadas y determinadas por el Consejo Departamental.

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 al profesor.
2. El alumno es responsable de los daños que resulten de su operación descuidada, negligente, o desinformada, aunque no exista la intención explícita de causar daños o perjuicios al equipamiento o infraestructura del Departamento.

- (2) La inasistencia a entregas deberá ser justificada mediante certificado médico autorizado por la Subdirección de Asuntos Estudiantiles. Inasistencias a más de un control o entrega serán evaluadas con nota 1.0.

**X) Bibliografía:****Mínima:**

- [1] M. Torres. *Diseño de Sistemas Robóticos – Apuntes del Curso*, Santiago, Chile, 2012.
- [2] R. A. Walsh. *Electromechanical Design Handbook*, 3a ed., McGraw-Hill, New York, 2000.

**Complementaria:**

- [3] B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. *Robotics: Modelling, Planning and Control*, 2a ed., Springer, febrero, 2011.
- [4] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh. *Introduction to Autonomous Mobile Robots (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*, MIT Press, abril, 2004.
- [5] T. Braunl. *Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications With Embedded Systems*, Springer-Verlag, septiembre, 2003.
- [6] 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.
- [7] J.M. Holland. *Designing Autonomous Mobile Robots: Inside the Mind of an Intelligent Machine*, Newnes, diciembre, 2003.
- [8] G. Dudek, M. Jenkin. *Computational Principles of Mobile Robotics*, Cambridge University Press, 2000.
- [9] H. R. Everett. *Sensors for Mobile Robots: Theory and Application*, AK Peters, Ltd., junio, 1995.
- [10] I. J. Cox, G. T. Wilfong. *Autonomous Robot Vehicles*, Springer-Verlag, septiembre, 1990.
- [11] R. D. Klafter, T. A. Chmielewski, M. Negin. *Robotic engineering: An Integrated Approach*, Prentice Hall, abril, 1989.
- [12] J. M. Angulo, S. Romero, I. Angulo. *Microbótica: Tecnología, Aplicaciones y Montaje Práctico*, Paraninfo, 1999.
- [13] M. Groover. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems*, 4a ed., Wiley, enero, 2011.
- [14] K. Ulrich, S. Eppinger. *Product Design and Development*, 5a ed., McGraw-Hill, mayo, 2011.
- [15] R. Thompson. *Prototyping and Low-Volume Production*, Thames & Hudson, abril, 2011.
- [16] R. Thompson. *Manufacturing Processes for Design Professionals*, Thames & Hudson, noviembre, 2007.
- [17] J.E. Carryer, M. Ohline, T. Kenny. *Introduction to Mechatronic Design*, Prentice Hall, diciembre, 2010.
- [18] D. Shetty, R. A. Kolk. *Mechatronics System Design*, 2a ed., CL-Engineering, junio, 2010.
- [19] C. Dym, P. Little. *Engineering Design: A Project Based introduction*, 3a ed., Wiley, agosto, 2008.
- [20] G. Chryssolouris. *Manufacturing Systems: Theory and Practice*, 2a ed., Springer, 2006.
- [21] B. Siciliano, K. Oussama, eds. -*Springer handbook of robotics*. Springer Science & Business Media, 2008.

**A) ANEXO - Planificación del curso:****1. Primera Etapa – Definición del proyecto (semanas 1 – 2)**

El alumno realizará una búsqueda e identificación de desafíos y/o necesidades no resueltas en procesos industriales, sistemas científicos o tareas personales. Para cada una de ellas planteará la implementación de un sistema robótico como solución novedosa e innovadora al problema.

Tareas, talleres y entregas:

- Miércoles 9 de agosto:
  - o Bienvenida al Curso IRB2002, inscripción de grupos.
  - o **Enunciado Tarea 1:** Identificar desafíos y/o necesidades con su respectiva solución. **Entrega:** miércoles 16 de agosto. **Formato:** Presentación.
- Miércoles 16 de agosto:
  - o Presentación Tarea 1. Los profesores entregan *feedback* después de la presentación. Elección del proyecto a desarrollar.
  - o **Taller 1 – Formulación de una propuesta de proyecto:** Este taller enseñará al alumno cómo formular un proyecto tipo CORFO o Fondef. En particular: Descripción del proyecto, explicación del problema/necesidad que resuelve, mercado potencial, estado del arte actual, soluciones alternativas existentes en patentes y/o *papers* y cumplimiento de normas técnicas (mecánicas, eléctricas y de software) y ambientales (reciclabilidad, vida útil, etc). Por último, se deberá definir resultados esperados e indicadores de desempeño.
  - o **Enunciado Tarea 2:** Formulación de proyecto A y bosquejo de B, según taller 1 añadiendo un breve listado de requerimientos eléctricos, mecánicos y computacionales. Revisión y lectura de estándares eléctricos, mecánicos y ambientales atingentes al proyecto escogido (ISO, IEC, EPA, entre otros). **Entrega:** miércoles 23 de agosto. **Formato:** Documento.

**2. Segunda Etapa – Planificación y diseño del proyecto (semanas 3 – 5)**

En esta etapa el alumno adquirirá experiencia teórica en la planificación y diseño del sistema robótico seleccionado. Primero, cada grupo efectuará un diseño de alto nivel plasmado en un diagrama de bloques funcionales. En este se indicarán las funciones y requerimientos de cada bloque, junto con las conexiones entre ellos. Luego, deberán modelar, simular y/o evaluar matemáticamente los requerimientos del sistema robótico, con el fin de definir especificaciones para una alternativa de diseño adecuada. Se realizará un diseño de bajo nivel especificando cada uno de los sub-bloques, componentes, piezas y algoritmos a desarrollar e implementar. En paralelo al diseño del sistema robótico, cada grupo efectuará una planificación temporal (Carta Gantt) considerando las distintas etapas de construcción y los tiempos de elaboración, así como también una planificación de los costos asociados al proyecto.

Tareas y entregas:

- Miércoles 23 de agosto:
  - o **Taller 2 - Planificación y diseño:** Este taller enseñará al alumno las estrategias de planificación y diseño utilizadas generalmente para el desarrollo de proyectos. Se enfatizará en una estrategia de diseño top-down que comienza con un diseño a nivel de sistemas y termina con uno de bajo nivel para realizar un diseño integral del proyecto.
  - o **Enunciado Tarea 3:** Realizar el diseño de alto nivel, identificando bloques mecánicos, eléctricos y de software. Definir la función de cada uno de estos, los requerimientos que cumple y su interacción con el resto de los bloques. **Entrega:** miércoles 30 de agosto. **Formato:** Presentación.
  - o **Enunciado Tarea 4:** Realizar el diseño de los bloques de bajo nivel, presentando simulaciones, modelos y cálculos que respalden las decisiones de diseño realizadas (torque de motores, capacidad de almacenamiento, procesamiento, frecuencia de muestreo, entre otros). Definir el listado final de requerimientos y especificaciones que debe cumplir el proyecto. Listar los componentes considerados y la justificación de su uso. A este documento se añaden los ítems corregidos de las entregas anteriores. **Entrega:** miércoles 13 de septiembre. **Formato:** Documento.

- Miércoles 30 de agosto:
  - o Presentación Tarea 3. Los profesores entregan *feedback* después de la presentación.
- Miércoles 6 de septiembre:
  - o Reunión con profesores para discutir avances y recibir *feedback* de la última tarea.
  - o **Enunciado Tarea 5:** Realizar una carta Gantt con la planificación de actividades hasta la entrega final, considerando plazos de compra de materiales (importación), implementación, construcción, integración, pruebas y readecuación de diseño. Todas las tareas deben ser detalladas y subdivididas según corresponda. La carta Gantt deberá ser actualizada para cada una de las entregas futuras, explicando si algún punto no fue alcanzado en su respectivo plazo o si se debe modificar alguna tarea. Además, agregar una planificación de costos y procedencia de los materiales del proyecto.  
**Entrega:** miércoles 13 de septiembre. **Formato:** Documento.
- Miércoles 13 de septiembre:
  - o Inicio de trabajo de prototipado. Reunión con profesores para resolver las últimas dudas de la Tarea 4 y Tarea 5.

### 3. Tercera Etapa – Prototipo modular (semanas 6 – 9)

Durante esta etapa, los grupos trabajarán en la implementación por separado de cada uno de sus bloques. Para esto, se definirán y/o actualizarán métricas para identificar el desempeño de cada bloque y de esta forma evaluar si el diseño es el correcto, debe ser mejorado o si es necesario buscar una nueva solución para este bloque. Al finalizar esta etapa, cada grupo deberá presentar la implementación eléctrica, mecánica y de software de manera independiente y funcionando o, en su defecto, al menos un tercio de su proyecto terminado y operativo.

Tareas y entregas:

- Miércoles 20 de septiembre:
  - o Reunión con profesores para discutir avances y progreso de tareas.
- Miércoles 27 de septiembre:
  - o Reunión con profesores para recibir *feedback* de los avances y mostrar Carta Gantt actualizada.
  - o **Enunciado Informe de Avance 1:** Realizar un informe que describa el avance hasta la fecha de cada uno de los bloques. Específicamente el informe debe contener: 1) Descripción del proyecto, 2) Diagrama de bloques de bajo nivel actualizado, 3) Modelos y simulaciones del sistema, 4) Listado de requerimientos y especificaciones actualizado, 5) Descripción de cada bloque: incluye esquemáticos, planos, diagramas de flujo del código, modelos, cálculos, mediciones, pruebas efectuadas y resultados si es que corresponde. Al final de cada bloque se debe concluir si este cumple con las especificaciones. 6) Carta Gantt actualizada. **Entrega:** miércoles 11 de octubre. **Formato:** Documento.
- Miércoles 5 de octubre:
  - o Semana de receso de docencia bimestral.
- Miércoles 11 de octubre:
  - o **Presentación Prototipo modular**

### 4. Cuarta Etapa – Prototipo integrado (semanas 10 – 13)

En esta etapa el alumno trabajará en la integración de todos los bloques de su proyecto. Al finalizar, cada grupo presentará la integración de las implementaciones mecánica, eléctrica y computacional funcionando o, en su defecto, al menos dos tercios del proyecto terminado y operativo.

Tareas y entregas:

- Miércoles 18 de octubre:
  - o Reunión con profesores para recibir *feedback* de los avances y mostrar Carta Gantt actualizada.
- Miércoles 25 de octubre:
  - o **Presentación de avance – Prototipo integrado:** Demostrar integración de implementación mecánica con eléctrica y/o computacional con eléctrica y/o mecánica con eléctrica y computacional. Presentar Carta Gantt actualizada.
  - o **Enunciado Informe de Avance 2:** Formato similar al Informe de Avance 1. Se debe adjuntar la Carta Gantt actualizada. **Entrega:** miércoles 8 de noviembre. **Formato:** Documento.

- Miércoles 8 de noviembre:
  - o **Presentación Prototipo integrado**

## 5. Quinta Etapa – Producto final y documentación (semanas 14 – 17)

En la etapa final del curso, cada grupo deberá enfocarse en entregar un producto terminado que cuente con todas las consideraciones mecánicas, eléctricas y de software. Además, cada grupo deberá confeccionar la documentación correspondiente de su sistema robótico.

Tareas y entregas:

- Miércoles 15 de noviembre:
  - o **Enunciado Informe Final**. Similar en formato a los informes de avance, pero apuntado al cumplimiento de especificaciones y a las conclusiones obtenidas en la implementación del proyecto.  
**Entrega:** miércoles 6 de diciembre. **Formato:** Documento.
- Miércoles 22 de noviembre:
  - o **Presentación de avance – Prototipo final**: Se espera que el prototipo esté funcionando y que se requieran ajustes menores (por ejemplo, mejorar la calibración del control).
- Miércoles 29 de noviembre:
  - o Reunión con profesores para recibir *feedback* de los avances.
- Miércoles 6 de diciembre:
  - o **Presentación Final**. El prototipo debe estar funcionando completamente y cumplir con las especificaciones funcionales expuestas en la etapa de planificación y diseño.