



PROGRAMA DE ASIGNATURA

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre del curso o actividad | <b>CONTROL DE ROBOTS INDUSTRIALES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Nombre del programa          | Doctorado en Ciencias de la Ingeniería mención Automática                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Descripción                  | <p><i>Código: 11314, Nivel: 2 o 3, Créditos SCT-Chile: 10, Tipo: Electiva, Plan de Estudios: Resolución N°1118 del 03/04/20.</i></p> <p>Profundizar en el diseño, análisis y síntesis de sistemas de control avanzados para robots manipuladores industriales, abordando técnicas de control lineal y no lineal, control adaptativo, robusto e inteligente, con énfasis en la implementación práctica y validación experimental mediante simulación computacional, considerando criterios de desempeño, robustez y eficiencia energética en aplicaciones industriales modernas.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Objetivos                    | <p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Desarrollar competencias avanzadas en el diseño, implementación y análisis de sistemas de control para robots industriales, integrando teoría de control moderna con técnicas de control no lineal, adaptativo y robusto, para garantizar desempeño óptimo en aplicaciones de automatización industrial.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Analizar las propiedades estructurales del modelo dinámico de robots manipuladores para el diseño de controladores.</li><li>• Diseñar controladores basados en el modelo: control por torque calculado, control de modo deslizante y control de pasividad.</li><li>• Implementar estrategias de control adaptativo para compensar incertidumbre paramétrica y perturbaciones externas.</li><li>• Sintetizar controladores robustos H-infinito y Control Predictivo basado en Modelo (MPC) para robots manipuladores.</li><li>• Aplicar técnicas de control inteligente (redes neuronales, lógica difusa) para mejorar el desempeño de sistemas robóticos.</li><li>• Evaluar el desempeño de los controladores mediante análisis de estabilidad, convergencia y robustez, validando resultados por simulación.</li></ul> |
| Contenidos                   | <p><b>Unidad 1: Fundamentos de Control de Robots</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Repaso de modelado dinámico: formulaciones de Lagrange y Newton-Euler.</li><li>• Propiedades estructurales del modelo dinámico: simetría, acotamiento, pasividad.</li><li>• Formulación del problema de control de posición y seguimiento de trayectorias.</li><li>• Conceptos de estabilidad y teoría de Lyapunov.</li></ul> <p><b>Unidad 2: Control Basado en el Modelo</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Control por torque calculado (<i>Computed Torque Control</i>).</li><li>• Control de modo deslizante (<i>Sliding Mode Control</i>).</li><li>• Control basado en pasividad.</li><li>• Análisis de estabilidad mediante funciones de Lyapunov.</li><li>• Efectos de incertidumbres paramétricas y perturbaciones externas.</li></ul> <p><b>Unidad 3: Control Adaptativo de Robots</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Formulación del problema de control adaptativo.</li><li>• Control Adaptativo basado en Modelo de Referencia (MRAC).</li><li>• Leyes de adaptación: gradiente, Lyapunov, pasividad.</li><li>• Control adaptativo robusto y modificaciones para mejorar convergencia.</li><li>• Implementación y ajuste de parámetros.</li></ul> <p><b>Unidad 4: Control Robusto de Robots</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Conceptos de robustez y rechazo a perturbaciones.</li><li>• Control H-infinito aplicado a robots manipuladores.</li><li>• Control por modos deslizantes de orden superior.</li><li>• Control Predictivo basado en Modelo (MPC) para robots.</li><li>• Análisis de desempeño y <i>trade-offs</i> en diseño de controladores.</li></ul> <p><b>Unidad 5: Control Inteligente de Robots</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Control mediante redes neuronales artificiales.</li><li>• Control difuso (<i>Fuzzy Logic Control</i>).</li><li>• Sistemas neuro-difusos híbridos.</li><li>• Aprendizaje por refuerzo aplicado al control de robots.</li><li>• Implementación y entrenamiento de controladores inteligentes.</li></ul> <p><b>Unidad 6: Tópicos Avanzados y Aplicaciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Control de fuerza e impedancia.</li><li>• Control de robots redundantes.</li><li>• Control cooperativo de múltiples robots.</li><li>• Aplicaciones industriales: ensamblaje, soldadura, manipulación.</li><li>• Casos de estudio y análisis de implementaciones reales.</li></ul> |
| Modalidad de evaluación | <p><b>Estrategias Metodológicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Clases expositivas: Teoría de control no lineal, adaptativo y robusto para robots manipuladores.</li><li>• Análisis de estabilidad: Aplicación de teoría de Lyapunov y análisis de pasividad.</li><li>• Laboratorios computacionales: Implementación de controladores en MATLAB/Simulink.</li><li>• Proyectos de diseño: Síntesis de controladores adaptativos y robustos para aplicaciones específicas.</li><li>• Seminarios técnicos: Análisis de artículos científicos sobre control avanzado de robots.</li><li>• Trabajo autónomo: Estudio de teoría de control, desarrollo de proyectos y preparación de presentaciones.</li></ul> <p><b>Evaluación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tareas de diseño de controladores: Diseño y análisis teórico de controladores no lineales con demostración de estabilidad. Evalúa rigor matemático y correctitud de las demostraciones.</li><li>• Proyecto de implementación: Desarrollo completo de un sistema de control avanzado: diseño, análisis de estabilidad, implementación computacional, validación mediante simulación y análisis comparativo con otros controladores.</li><li>• Presentación y defensa técnica: Exposición del proyecto con demostración de resultados, análisis crítico del desempeño y respuesta a cuestionamientos técnicos.</li></ul>                                                                                                                                                                            |



|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Resultados de aprendizajes esperados | <p><b>Resultado de Aprendizaje General:</b></p> <p>Al finalizar el curso, el(la) estudiante será capaz de diseñar, implementar y analizar sistemas de control avanzados para robots manipuladores, aplicando teoría de control no lineal, adaptativo y robusto, demostrando competencia en la síntesis de controladores con garantías de estabilidad y desempeño óptimo para aplicaciones industriales complejas.</p> <p><b>Resultados de Aprendizaje Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Analizar las propiedades estructurales del modelo dinámico de robots (simetría, acotamiento, pasividad) y explotarlas para el diseño de controladores no lineales.</li><li>• Diseñar e implementar controladores basados en modelo (torque calculado, modo deslizante, pasividad) con garantía de estabilidad mediante teoría de Lyapunov.</li><li>• Sintetizar leyes de control adaptativo (MRAC, pasividad) para compensar incertidumbres paramétricas y variaciones dinámicas del sistema.</li><li>• Implementar técnicas de control robusto (H-infinito, modo deslizante de orden superior, MPC) para garantizar desempeño ante perturbaciones y errores de modelado.</li><li>• Aplicar algoritmos de control inteligente (redes neuronales, lógica difusa, aprendizaje por refuerzo) para mejorar el desempeño en tareas complejas.</li><li>• Validar el desempeño de controladores mediante simulación computacional, realizando análisis comparativo de estabilidad, convergencia, robustez y eficiencia energética.</li></ul> |
| Bibliografía                         | <p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• F. L. Lewis, D. M. Dawson, and C. T. Abdallah, <i>Robot Manipulator Control: Theory and Practice</i>, 2nd ed. New York, NY, USA: Marcel Dekker, 2003.</li><li>• R. Kelly, V. Santibáñez, and A. Loría, <i>Control of Robot Manipulators in Joint Space</i>. London, U.K.: Springer, 2005.</li><li>• B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, and G. Oriolo, <i>Robotics: Modelling, Planning and Control</i>. London, U.K.: Springer, 2010.</li><li>• M. W. Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar, <i>Robot Modeling and Control</i>, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2020.</li><li>• Artículos científicos relacionados con el tema de tesis del(de la) estudiante.</li></ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• J.-J. E. Slotine and W. Li, <i>Applied Nonlinear Control</i>. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1991.</li><li>• E. F. Camacho and C. Bordons, <i>Model Predictive Control</i>, 2nd ed. London, U.K.: Springer, 2007.</li><li>• P. A. Ioannou and J. Sun, <i>Robust Adaptive Control</i>. Mineola, NY, USA: Dover Publications, 2012.</li><li>• H. K. Khalil, <i>Nonlinear Control</i>. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2015.</li><li>• V. Utkin, J. Guldner, and J. Shi, <i>Sliding Mode Control in Electro-Mechanical Systems</i>, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2017.</li></ul>                                                                                                                            |