



# Planificaciones

6743 - Robótica Industrial

Docente responsable: GONZALEZ PABLO SEBASTIAN

## OBJETIVOS

- Definir y analizar las características que diferencian a los Robots de otras máquinas automáticas.
- Estudiar la cinemática y dinámica del manipulador y actuadores para obtener los parámetros necesarios para el diseño mecánico.
- Estudiar los reductores y transmisiones típicas del brazo.
- Estudiar las estrategias básicas de control y técnicas de programación de tareas utilizadas en Robótica y aplicarlas a una tarea particular con un Robot industrial.
- Analizar los Sistemas de Producción Integrados por Computadora con el Robot como eslabón necesario de los mismos.

## CONTENIDOS MÍNIMOS

### PROGRAMA SINTÉTICO

Definición y caracterización de Robots. Transformaciones Homogéneas. Ángulos de Euler. Cuaterniones. Parámetros D-H. Cinemática Directa e Inversa. Configuraciones. Singularidades. Jacobiano. Estática. Generación de Trayectorias. Modelización matricial de la celda de trabajo. Interfase con Visión Industrial. Métodos de Programación. Lenguajes de Programación off-line. Planteo del Problema de Calibración. Simulación Cinemática. Dinámica inversa y directa. Ecuación de Estado. Simulación Dinámica. Reductores y Transmisiones. Arquitectura de Control. Sensores internos. Control lineal. Análisis de estabilidad. Control no lineal. Incertezas. Planteo del problema de Identificación y Control Adaptivo. Movimiento sujeto a vínculos. Acomodamiento y Control de fuerzas. Aplicaciones. Incorporación del Robot a la fábrica. Manufactura Integrada por Computadora (CIM).

### PROGRAMA ANALÍTICO

#### INTRODUCCIÓN.

Características que distinguen al Robot de una máquina convencional. Capacidades básicas. Distintos tipos de estructuras cinemáticas. Sistemas de coordenadas. Angulos de Euler. Cuaterniones. Transformaciones homogéneas.

#### CINEMÁTICA Y ESTÁTICA.

Estudio de cadenas cinemáticas abiertas. Asignación de ternas solidarias a los eslabones. Problema directo de posición. Parámetros DH. Transformación de pasaje entre ternas. Problema inverso. Soluciones múltiples y singularidades. Configuraciones. Velocidades. Características cinemáticas de cada eslabón y de la herramienta. Movimientos diferenciales. Jacobiano. Condición de la matriz. Manipulabilidad. Aceleraciones. Método recursivo. Estática. Vector fuerza-momento. Torques en los ejes.

#### PROGRAMACIÓN Y GENERACIÓN DE TRAYECTORIA.

Evolución de los métodos de programación de Robots. Programación off-line. Planteo del problema de calibración. Descripción matricial de objetos y del puesto de trabajo. Interfase con sistemas de visión. Sistema de coordenadas de la cámara. Programación de tareas. Movimiento entre puntos. Zonas y tiempo para cambio de velocidad. Puntos de paso. Interpolación a nivel de las articulaciones (punto a punto). Movimiento cartesiano. Generación de trayectorias en el espacio. Distintas técnicas. Método de Paul. Simuladores cinemáticos.

#### DINÁMICA Y TRANSMISIONES.

Energía cinética y potencial del robot. Matriz de pseudoinercia. Ecuaciones dinámicas por el método de Lagrange-Euler. Propiedades de las ecuaciones. Dinámica de los actuadores y del sistema de transmisión. Parámetros dinámicos. Ecuación dinámica por Newton-Euler recursivo. Fuerzas y torques para control y diseño mecánico. Problema dinámico directo. Método de Walker-Orin. Solución numérica de las ecuaciones. Simulación dinámica.

Sistemas de transmisión. Mejoras dinámicas y de funcionalidad del Robot. Muñecas de Robots. Sistemas planetarios de engranajes cónicos con ejes coaxiales y actuadores remotos. Matriz jacobiana de la transmisión. Relación entre las velocidades y torques en los ejes y en los actuadores. Reductor armónico. Tornillo de bolas recirculantes.

#### CONTROL DE POSICIÓN.

Arquitectura de control. Organización del soft. Controlador. Sensores internos. Codificador óptico absoluto e incremental. Decodificación de señales. Actuadores. Control de un modelo simplificado SISO del manipulador + actuadores. Control PID. Ajuste de ganancias. Criterios de Paul. Eliminación de errores estacionarios. Frecuencia de muestreo. Modelo elástico. Modelo dinámico completo. Torque computado. Análisis de estabilidad mediante simulación.

#### CONTROL DE FUERZAS.

Movimientos del Robot sujeto a vínculos externos. Tareas que lo requieren. Restricciones naturales y artificiales. Selección de la terna de acomodamiento. Partición del espacio. Condición de terminación. Métodos activos de control de fuerzas. Sensores de fuerza/torque. Matriz de rigidez. Matriz de acomodamiento. Servo

de fuerzas. Control de rigidez. Métodos pasivos. Dispositivos mecánicos de acomodamiento (RCC). Estrategia de acomodamiento mediante ganancias "blandas". Control híbrido. Método de Paul. Selección de ejes. Compensación de los desvíos.

**INCORPORACIÓN DEL ROBOT A LA FÁBRICA. CIM.**

Integración del Robot al proceso productivo. El Robot como eslabón necesario del CAD/CAM y de los sistemas flexibles (FMS). Las funciones de la empresa relacionadas a través de Sistemas Asistidos por Computadora. Planificación y Control de Producción mediante MRP y JIT. Producción integrada por computadora (CIM). Ejemplos de aplicación. Aspectos de calidad, higiene y seguridad involucrados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Bruno Siciliano and Lorenzo Sciavicco. Robotics: Modeling, Planning and Control. Springer 2011.
2. Paul, Richard P. Robot Manipulators: Mathematics, Programming and Control. The MIT Press. 1981.
3. Craig, John, J. Robótica. Prentice Hall, México. 2006.
4. Koren, Yoram, Robotics for Engineers. Mc Graw-Hill. New York. 1985.
5. L'Hote, F., Kauffmann, J.M., André, P. and Taillard, J.P. Robot Technology. Vol. 4. Robot Components and Systems. Prentice-Hall.1983.
6. Product Specification IRB 140 y RAPID Reference Manual. ABB Robotics Products. Sweden.2000.
7. Arnedo Rosel, J.M. Fabricación Integrada por Ordenador (CIM). Marcombo, Barcelona, España. 1992.
8. Spong, M.W., Hutchinson, S. and Vidyasagar, M. Robot Modeling and Control. New York: John Wiley & Sons Inc. 2006.
9. Artículos seleccionados de las siguientes publicaciones:  
The International Journal of Robotics Research.  
Journal of Robotic Systems.  
IEEE Transactions on Robotics and Automation.

## **RÉGIMEN DE CURSADA**

### **Metodología de enseñanza**

El curso consta de dos clases Teórico/prácticas semanales durante las cuales se dicta teoría, se hacen ejercicios prácticos que incluyen trabajos de simulación y se realizan actividades de Laboratorio utilizando un robot industrial.

### **Modalidad de Evaluación Parcial**

En la evaluación parcial se toman 2 ó 3 temas teórico/prácticos semejantes a los realizados durante las clases. No se requiere memorizar fórmulas. Dos temas tipo:

1. Resolver la cinemática directa e inversa de un manipulador simple de tres ejes.
2. Obtener la matriz Jacobiana de la transmisión de una muñeca de Robot.

Modalidad de la evaluación integradora:

Evaluación por Coloquio durante la presentación de un Trabajo Práctico integrador de la materia. El trabajo consta de:

- a. La programación en lenguaje RAPID de una tarea.
- b. La modelización cinemática y/o dinámica de una parte de la estructura de un Robot.

## CALENDARIO DE CLASES

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
<1> 09/03 al 14/03	Manufactura Flexible. CIM. Sistemas de Referencia					1,7
<2> 16/03 al 21/03	Parámetros DH. Problema directo	Rotaciones, cuaterniones		TP1. Transformaciones		2,3,4
<3> 23/03 al 28/03	Problemas inversos	Matrices homogéneas	Programación por enseñanza			2,3,8
<4> 30/03 al 04/04	Problema inverso de un manipulador	Cinemática directa e inversa del robot ABB	Introducción a la simulación y programación Off-Line		Entrega TP1	2,4,8
<5> 06/04 al 11/04	Matriz Jacobiana de velocidades		Introducción a la programación estructurada. Definición de una herramienta	TP2. Cinemática directa e inversa		2,3,6,8
<6> 13/04 al 18/04	Análisis de singularidades en manipuladores	Cálculo del jacobiano de un manipulador	Encadenando de transformaciones y E/S digit-analog			2,3,6,8
<7> 20/04 al 25/04	Programación. Generación de trayectorias Joint		Resolución del primer ejercicio utilizando la estructura de la celda		Entrega TP2	2,6,9
<8> 27/04 al 02/05	Movimiento Cartesiano	Simulación cinemática	Planteo de una tarea relativamente compleja y que requiera también utilizar sensores externos. Definición de objetivos parciales y Distribución de actividades por grupos.	TP3. Jacobiano y singularidades		2,4,6,9
<9> 04/05 al 09/05	Dinámica del manipulador		Programación.			2,3,4,6,9
<10> 11/05 al 16/05	Dinámica directa. Simulación	Cálculo de distintos términos de la ec. dinámica	Programación.		Entrega TP3	3,6,8,9
<11> 18/05 al 23/05	Actuadores, transmisiones y sensores	Grafo canónico y esquema básico de una muñeca a partir del diagrama funcional.	Programación.	TP4. Generación de trayectoria		2,3,8,9
<12> 25/05 al 30/05	Conceptos de visión artificial aplicados a robótica		Evaluación Parcial			3,5,8,9
<13> 01/06 al 06/06	Arquitectura del control. Control Lineal	Simulación dinámica y control.	Incorporación de sensores de visión al programa desarrollado		Entrega TP4	2,3,6,8
<14> 08/06 al 13/06	Control lineal. Estabilidad		Incorporación de sensores de visión al programa desarrollado	TP5. Modelo dinámico, diseño del control y simulación dinámica de un manipulador		2,3,6,8
<15> 15/06 al 20/06	Acomodamiento. Control de fuerza en robots		Programar una tarea con contacto con el medio y control de fuerzas			3,6,8
<16>	Control no lineal.		Programar una		Entrega TP5	6,8,9

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
22/06 al 27/06	Incertezas del modelo. Control adaptivo		tarea con contacto con el medio y control de fuerzas			

## CALENDARIO DE EVALUACIONES

### Evaluación Parcial

Oportunidad	Semana	Fecha	Hora	Aula
1º	12	27/05	19:00	
2º	15	17/06	19:00	
3º	16	22/06	19:00	
4º				
Observaciones sobre el Temario de la Evaluación Parcial				
Incluye los temas vistos hasta Dinámica inclusive.				
Otras observaciones				
Pueden utilizarse libros y apuntes durante el examen.				