



**PLAN DE ESTUDIOS (PE):** Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización

**ÁREA:** Robótica y Control

**ASIGNATURA:** Control de Robots Manipuladores

**CÓDIGO:** MCEA-20800

**CRÉDITOS:** 6

**FECHA:** 30 de septiembre de 2017



## 1. DATOS GENERALES

Nivel Educativo	Maestría
Nombre del Plan de Estudios	Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización
Modalidad Académica	Presencial
Nombre de la Asignatura	Control de Robots Manipuladores
Ubicación	Facultad de Ciencias de la Electrónica, Edificio FCE6, primer piso. 18 sur y Av. San Claudio, Col. Jardines de San Manuel, Ciudad Universitaria. Puebla, Puebla 72570.
Correlación:	
Asignaturas Precedentes	Control Lineal y Servomecanismos; Control Digital
Asignaturas Consecuentes:	Ninguna
Conocimientos, habilidades, actitudes, y valores previos:	<p>Conocimientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelado cinemático y dinámico de robots manipuladores; control de robots manipuladores; teoría de estabilidad de Lyapunov; programación en <b>MATLAB</b>, C y C++, manejo del robot industrial FANUC.</li> </ul> <p>Habilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diseño y desarrollo de sólidos en AutoCad y SolidWork.</li> </ul> <p>Actitudes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trabajar en equipo, adaptarse al grupo de alumnos e investigadores del posgrado, autodidacta y tener iniciativa.</li> </ul> <p>Valores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ser respetuoso, disciplinario y tolerante; actuar con ética y profesionalismo.</li> </ul>



## 2. CARGA HORARIA DEL ESTUDIANTE

Concepto	Horas de Período		Total de horas por período	Créditos
	Teoría	Práctica		
Horas: teoría y práctica	90	0	90	6
Total	90	0	90	6
16 horas corresponde a un crédito.				

## 3. REVISIONES Y ACTUALIZACIONES

Autores	Dr. J. Fernando Reyes Cortés
Fecha de diseño	
Fecha de aprobación por parte de la academia del área	15 de diciembre de 2017
Fecha de aprobación por parte de CDESCUA	
Fecha de revisión del Secretario Académico	
Revisores	Academia Posgrado
Sinopsis de la revisión y/o actualización	Se actualizó contenido y bibliografía complementaria.

## 4. PERFIL DESEABLE DEL PROFESOR PARA IMPARTIR LA ASIGNATURA

Disciplina Profesional	Robótica y Control
Nivel Académico	Doctor en Ciencias
Experiencia Docente	20 años
Experiencia profesional	35 años



## 5. OBJETIVOS

El curso Control de Robots Manipuladores es una materia formativa que pertenece al segundo semestre del Plan de Estudios de la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización de la Facultad de Ciencias de la Electrónica en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. La naturaleza del curso es teórica-práctica, con un valor de 6 créditos, 80 horas clase (40 horas de teoría y 40 horas prácticas), repartidas en 20 semanas, 4 horas por semana. Este curso pretende proporcionar al estudiante de las herramientas científicas de la robótica para analizar y diseñar nuevos esquemas de control en los espacios articulares y cartesianos.

Los objetivos fundamentales del presente curso se encuentran en proporcionar las bases científicas y tecnológicos; modelado cinemático, dinámico y diseño de esquemas de control para robots manipuladores. A continuación se describen los objetivos planteados en este curso de posgrado.

### 5.1 Objetivo General

Proporcionar a los alumnos los conocimientos teóricos y prácticos para adquirir una formación científica integral de alta calidad en el control de robots manipuladores, tal que, les permita analizar, diseñar e implementar proyectos científicos, así como innovar aspectos tecnológicos de la automatización. La meta sustantiva que pretende el presente curso, es formar recursos humanos con conocimientos y habilidades científicos y tecnológicos sólidos en el campo de la robótica, para que sean competitivos a nivel nacional e internacional, a través de la generación del conocimiento usando procesos continuos de investigación, enfocados a la innovación, desarrollo tecnológico y automatización de procesos.

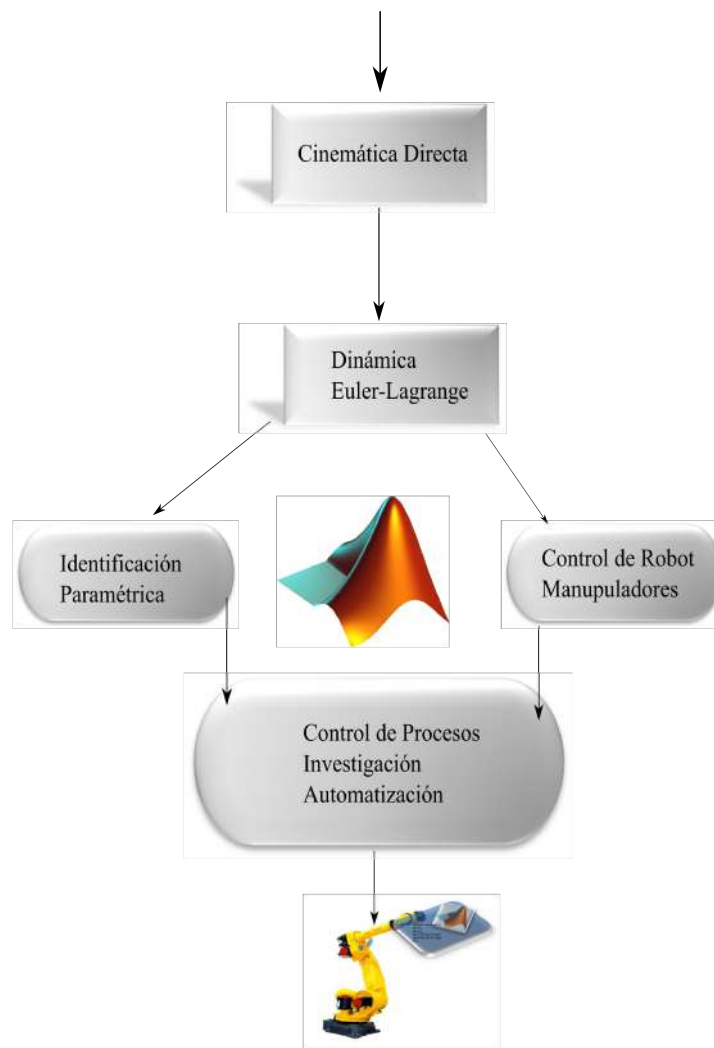
Para cubrir el objetivo general, se han contemplado los siguientes objetivos particulares:

### 5.2 Objetivos particulares

- Cinemática y dinámica de robots manipuladores.
- Identificación paramétrica de robots manipuladores.
- Control de posición y trayectoria (articulares y cartesianos).
- Visual servoing (control de robots mediante información visual).
- Control de fuerza e impedancia.



## 6. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ASIGNATURA



**Figura 1:** Representación gráfica de la asignatura de Control Lineal y Servomecanismos



## 7. CONTENIDO

Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
1. <b>Cinemática de Robots Manipuladores</b>	Presentar la cinemática directa de robots manipuladores y el empleo del método Denavit-Hartenberg.	1.1 Introducción a la robótica  1.2 Preliminares matemáticos  1.2.1 Matrices de rotación 1.2.2 Ángulos de Euler 1.2.3 Matrices de traslación 1.2.4 Transformaciones homogéneas	Reyes (2012)	Spong, Hutchinson and Vidyasagar. (2006)
		1.3 Robots industriales  1.3.1 Morfología  1.4 Cinemática directa  1.4.1 Método de Denavit-Hartenberg  1.5 Cinemática inversa  1.6 Cinemática diferencial	Reyes (2012)	Spong, Hutchinson and Vidyasagar. (2006), Reyes (2013)
		1.7 <b>Modelado Cinemático</b>  1.7.1 Robots antropomórficos 1.7.2 Robot SCARA 1.7.3 Configuración esférica 1.7.4 Configuración cilíndrica 1.7.5 Robot cartesiano	Reyes (2012)	Spong, Hutchinson and Vidyasagar. (2006), Reyes (2013)



Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
<b>2. Dinámica</b>	Presentar la técnica de modelado dinámico de la Mecánica Analítica.	2.1 Introducción	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003), Spong, Hutchinson and Vidyasagar. (2006)
		2.2 Dinámica de robots manipuladores		
		2.2.1 Ecuaciones de movimiento de Euler Lagrange		
		2.2.2 Modelo dinámico		
		2.3 Descripción y propiedades de los fenómenos físicos de robots manipulador	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003)
		2.3.1 Efecto inercial		
		2.3.2 Fuerzas centrípetas y de Coriolis		
		2.3.2.1 Símbolos de Christoffel		
2.3.3 Par gravitacional				
2.3.4 Efecto de fricción				
2.3.4.1 Fricción estática				
2.3.4.2 Fricción viscosa				
2.3.4.3 Fricción de Coulomb				
2.3.4.4 Modelos dinámicos				
2.3.4.1 Propiedades				
2.5 Modelo de energía	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003)		
2.6 Modelo de Potencia				
2.7 Modelado dinámico de robots manipuladores	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003), Spong, Hutchinson and Vidyasagar. (2006)		
2.7.1 Robot antropomórfico (2 y 3 gdl)				
2.7.2 Robot SCARA				
2.7.3 Robot cartesiano (2 y 3 gdl)				
2.8 Dinámica hamiltoniana	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003)		



Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
3. Identificación Paramétrica	Analizar y desarrollar los esquemas de regresión paramétrica de robots manipuladores.	3.1 Introducción  3.2 Algoritmo recursivo de mínimos cuadrados  3.2.1 Desarrollo del algoritmo recursivo de mínimos cuadrados  3.2.2 Señales de excitación persistente  3.2.3 Propiedades del algoritmo recursivo de mínimos cuadrados	Reyes (2012)	Reyes (2013)
		3.3 Esquemas de regresión (simulación con <b>MATLAB</b> )  3.3.1 Modelo dinámico 3.3.2 Modelo dinámico filtrado 3.3.3 Modelo de energía 3.3.4 Modelo de potencia 3.3.5 Modelo de potencia filtrada 3.3.6 Modelo hamiltoniano 3.3.7 Modelo hamiltoniano filtrado 3.3.8 Aspectos prácticos	Reyes (2012)	Reyes (2013)





Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
4. Control de Posición	Diseñar nuevas estrategias de control a través de la metodología de moldeo de energía para robots manipuladores.	4.1 Introducción	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003), Reyes (2013)
		4.2 Control PD		
		4.3 Control PID		
4.4 Aspectos prácticos				
4.5 Moldeo de energía	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003), Reyes (2013)		
4.5.1 Control con acciones no acotadas				
4.5.2 Control con acciones acotadas				
4.5.3 Control con acciones saturadas	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003), Reyes (2013)		
4.6 Simulación y aspectos prácticos				
4.7 Control punto a punto	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003), Reyes (2013)		
4.8 Evaluación práctica				
4.9 Diseño de funciones estrictas de Lyapunov				
4.10 Problemas abiertos en investigación				



Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
5. Control de Trayectoria	Diseñar nuevas estrategias de algoritmos de control de trayectoria para robots manipuladores.	5.1 Introducción	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003)
		5.2 Planificación de trayectorias		
		5.3 Control Par Calculado		
		5.4 Control PD+		
		5.5 Familia de esquemas de control Par Calculado (funciones estrictas de Lyapunov)	Reyes (2012)	Kelly y Santibañez (2003), Reyes (2013)
		5.6 Familia esquemas de control PD+ (funciones estrictas de Lyapunov)		
		5.7 Simulación ( <b>MATLAB</b> ) y aspectos prácticos		
		5.8 Control de movimiento: Aspectos abiertos de investigación		



Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
6 Control Cartesiano	Diseñar nuevas estrategias de control para robots manipuladores.	6.1 Introducción al control cartesiano	Reyes (2012)	
		6.2 Modelo dinámico cartesiano 6.2.1 Metodología del Jacobiano transpuesto $J(\mathbf{q})^T$		
		6.3 Propiedades del modelo dinámico cartesiano		
		6.4 Tópicos de Control Cartesiano (simulación con <b>MATLAB</b> )	Reyes (2012)	Reyes (2013)
		6.4.1 Control de fuerza		
		6.4.2 Control de Impedancia Mecánica		
		6.4.3 Visual Servoing		
		6.5 Temas abiertos de investigación		

Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
7. Robótica Industrial	Diseñar nuevas estrategias de control para robots manipuladores.	7.1 Introducción 7.2 Arquitectura de un robot industrial 7.3 Consola de control 7.4 Teach Pendant 7.5 Programación	Reyes (2012)	



## 8. CONTRIBUCIÓN DEL PROGRAMA DE ASIGNATURA AL PERFIL DEL EGRESO

Asignatura	Perfil de egreso		
	Conocimientos	Habilidades	Actitudes y valores
Control Lineal y Servomecanismos	<p>Dominio de la teoría de sistemas dinámicos lineales</p> <p>Análisis de sistemas en variables de estado en el dominio de tiempo continuo y discreto</p> <p>Diseño de observadores y predictores de velocidad</p> <p>Diseño de nuevas estrategias de control para servomecanismos</p> <p>Control de servomecanismos</p> <p>Mejora de aspectos prácticos de control de procesos</p>	<p>Capacidad para mejorar o perfeccionar la solución de problemas del ámbito de la automatización</p> <p>Potencial para resolver y mejorar problemas teóricos y prácticos</p> <p>Armonía para trabajar en equipo</p> <p>Toma de decisiones asertivas en el planteamiento, solución y ejecución de procesos con servomecanismos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Comportamiento humanista</li> <li>■ Persona ética</li> <li>■ Respeto y compromiso</li> <li>■ Cuidado del entorno ambiental</li> <li>■ Responsable</li> <li>■ Disciplinario</li> <li>■ Autodidacta</li> <li>■ Iniciativa</li> <li>■ Formalidad</li> <li>■ Dominio del lenguaje técnico del área de automatización (magnífica redacción del idioma castellano)</li> </ul>



## 9. DESCRIBA CÓMO LOS EJES TRANSVERSALES CONTRIBUYAN AL DESARROLLO DE LA ASIGNATURA

Ejes transversales	Contribución con la asignatura
Formación humana y social	Compromiso y responsabilidad con los diferentes sectores de la sociedad a incrementar no sólo la calidad de vida, también a proponer propuestas para mejorar nuestro entorno.
Desarrollo de habilidades en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación	Detectar y plantear problemas del entorno social y ambiental, y su potencial solución a través de los conocimientos que adquiere con el uso de la tecnología y teoría de la automatización.
Desarrollo de habilidades del pensamiento complejo	Con el uso de las ciencias exactas (física y matemáticas) mejora el planteamiento y solución de problemáticas con impacto directo a diferentes sectores de la sociedad.
Lengua extranjera	Manejo adecuado de una segunda lengua para comunicarse y escribir documentos científicos, generalmente inglés.
Innovación y talento universitario	Uso y aplicación del conocimiento del área de automatización para mejorar o adecuar tecnología en bien de la sociedad.
Educación para la investigación	Generar prototipos científicos-didácticos que coadyuven a la enseñanza y transmisión del conocimiento en el área de la automatización.



## 10. ORIENTACIÓN DIDÁCTICA-PEDAGÓGICA

Estrategias y técnicas de aprendizaje-enseñanza	Recursos didácticos
Estrategia de aprendizaje	Diapositivas de cada sesión de clase, simuladores, videos de experimentos.
Estrategia de enseñanza	Actividades de aprendizaje: análisis de artículos científicos, presentación de trabajos en clase.
Ambientes de aprendizaje	Laboratorio experimental de robótica y control, desarrollo de prácticas, diseño de prototipos didácticos.
Actividades y experiencias de aprendizaje	Presentación de trabajos en foros y simposiums del área de automatización, convivencia con diversos investigadores en el ciclo de de seminarios del posgrado.



## 11. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Criterios	Porcentaje
Exámenes	40 %
Actividades académicas: tareas, reportes técnicos sobre prácticas de laboratorio y simulación, ejercicios con demostraciones analíticas.	60 %
	Total: 100 %

## 12. REQUISITOS DE ACREDITACIÓN

De acuerdo al reglamento de procedimientos de requisitos para la admisión, permanencia y egresos de alumnos de la BUAP, en la asignatura de Control Lineal y Servomecanismos de la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización:

Estar inscrito como alumno regular en la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización, adscrita a la Facultad de Ciencias de la Electrónica
Tener asistencia a la asignatura como mínimo del 80 % de las sesiones
La calificación mínima aprobatoria en posgrado es de 7 (siete)
Cumplir con las actividades académicas y cargas de estudio asignadas que señale la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización



### 13. ACTA DE ACUERDOS

Se anexa copia del acta de la Academia de la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización, así como de la CDESCUA con el Vo. Bo. del Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado.



# Bibliografía

RAFAEL KELLY Y VÍCTOR SANTIBAÑEZ. “*Control de Movimiento de Robots Manipuladores*”. Pearson Prentice-Hall. 2003.

MARK SPONG, SETH HUTCHINSON AND M. VIDYASAGAR. “*Robot Modeling and Control*”. John Wiley & Sons, Inc. 2006.

FERNANDO REYES. “*Robótica: Control de Robots Manipuladores*”. Editorial Alfaomega, 2012.

FERNANDO REYES. “*MATLAB: Aplicado a Robótica y Mecatrónica*”. Grupo Editor Alfaomega, 2013.

## Paquetes de cómputo empelados en el curso:

MATLAB(2017b), <http://www.mathworks.com/>

ARDUINO (2017), <http://www.arduino.cc/>