

## 1. Datos Generales de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura:</b>	Robótica Industrial
<b>Clave de la asignatura:</b>	MCD-1703
<b>SATCA<sup>1</sup></b>	2-3-5
<b>Carrera:</b>	Ingeniería Mecánica

## 2. Presentación

<b>Caracterización de la asignatura</b>
<p>La asignatura de Robótica Industrial aporta al perfil del estudiante de Ingeniería Mecánica con especialidad en Mecatrónica, con la capacidad para realizar estudios cinemáticos, dinámicos y de control de robots manipuladores, que le permitan la selección y el análisis de robots comerciales y su integración a un determinado proceso industrial por medio de su apropiada programación.</p> <p>La asignatura contempla abordar los aspectos conceptuales, mecánicos, de programación y de control de los robots manipuladores, lo que resulta en la integración sinérgica (trabajo en conjunto) de diferentes campos de las ingenierías y de las tecnologías que intervienen en la comprensión de un sistema mecatrónico, tal y como lo representa un sistema robótico.</p> <p>La robótica, al integrar diversas áreas de la ingeniería, requiere de un enfoque moderno de la mecánica para abordar los problemas complejos que se presentan al conjuntar los conocimientos de sus subsistemas: mecánico, de actuación, sensorial y de control. De esta manera, temas como la programación, cinemática, dinámica, planificación de trayectorias y control son considerados durante el curso a través de un enfoque teórico-práctico.</p> <p>Al ser una asignatura perteneciente al módulo de especialidad, requiere de los conocimientos previos de la gran mayoría de las asignaturas cursadas por el alumno en su programa de estudios. Sin embargo, resaltan los temas cubiertos en las materias de Mecanismos, Algoritmos y Programación, Dinámica, e Instrumentación y Control, con competencias específicas tales como el análisis del movimiento, velocidad y aceleración relativa de mecanismos con partículas en eslabones comunes, y con partículas en eslabones distintos; la aplicación de la codificación de los algoritmos con un lenguaje de programación; el análisis de las relaciones entre las fuerzas que actúan en un cuerpo rígido, la forma y la masa del mismo, y el movimiento producido; y la selección y empleo de los diferentes instrumentos de medición en sistemas de monitoreo y control de variables físicas de procesos industriales.</p> <p>Desde un punto de vista interdisciplinario, materias ofrecidas en la carrera de Ingeniería Electrónica (Control II, Microcontroladores, y Electrónica de Potencia), y en la carrera de Ingeniería Industrial (Sistemas de Manufactura, Planeación y Diseño de Instalaciones, y Formulación y Evaluación de Proyectos), permitirían el desarrollo de proyectos integradores con el fin de que los estudiantes desarrollen competencias que trasciendan el aula de clases y se extiendan a ámbitos productivos e investigativos reales.</p>

<sup>1</sup> Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

Así, el estudiante contará con las herramientas necesarias para comprender los conceptos, características, parámetros y especificaciones de un robot comercial que le permitan modelar, seleccionar y programar estos sistemas en un entorno industrial flexible.

### Intención didáctica

El temario de la asignatura está dividido en cuatro unidades temáticas. En la primera unidad se identifican los diferentes tipos de robots industriales, a partir de las especificaciones y parámetros dados por los fabricantes comerciales que definen su espacio de trabajo y sus aplicaciones industriales recomendadas. En esta unidad se realizan los dos tipos de programación utilizados en los robots comerciales: por enseñanza y textual. Se Desarrollan dos prácticas referentes al uso y programación de un robot industrial.

En esta unidad, se debe comprender los tipos de programación que existen: on-line y off-line. En la programación on-line, se realiza con el robot en el lugar de trabajo, y generalmente se realiza utilizando la caja de enseñanza. En la programación off-line no se necesita al robot ni su área de trabajo, ya que se realiza por medio de simulador computacional que contiene un modelo virtual del robot y su área de trabajo.

La segunda unidad comprende el estudio de la cinemática y la estática de los robots seriales. Se recomienda que la explicación teórica vaya acompañada del uso de un programa computacional donde se puedan validar las ecuaciones desarrolladas. En esta unidad se deben ejemplificar las diferentes técnicas para la generación de las ecuaciones cinemáticas, explicando sus ventajas y desventajas. Se debe dar énfasis al uso de la matriz Jacobiana o Jacobiano como una herramienta matemática poderosa en el planteamiento del problema Cinetoestático.

La unidad tres estudia la dinámica de las cadenas cinemáticas abiertas, donde se sugiere que el docente relacione los resultados teóricos obtenidos con aspectos físicos del robot. Ejemplificar las diferentes formulaciones existentes para la obtención del modelo dinámico de un robot manipulador, permitirá al alumno una mejor comprensión de las ventajas y desventajas de estas técnicas. Se recomienda el uso de un software de programación que permita la solución del problema dinámico directo e inverso, y la visualización de sus soluciones en modelos virtuales.

La última unidad brinda una introducción al control al estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica. El docente debe realzar la importancia del sistema de control en el robot manipulador. Conceptos de control retroalimentado y de sus diferentes arquitecturas permitirán al estudiante tener un panorama general en la selección o diseño del adecuado sistema de control para un tipo de tarea en específico.

### 3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Instituto Tecnológico de Puebla. Septiembre de 2016	Dr. Sergio Javier Torres Méndez MC. Miguel Ángel Domínguez Ramírez MC. Rene Pérez Pérez	

#### 4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
Desarrollar la capacidad en el alumno para evaluar la funcionalidad de diseños de sistemas robóticos industriales en cuanto a sus aspectos morfológicos, de programación, cinemáticos, estáticos, dinámicos y de control mediante el uso de herramientas computacionales y la utilización de robots manipuladores en tareas industriales.

#### 5. Competencias previas

- Describir y analizar los tipos de movimiento que un mecanismo puede realizar, tanto en el espacio como en el plano.
- Analizar el movimiento, velocidad y aceleración relativa de mecanismos con partículas en eslabones comunes, y con partículas en eslabones distintos
- Describir los movimientos, mediante las matrices de rotación ó matrices de transformación.
- Resolver problemas de aplicación e interpretar las soluciones utilizando matrices y sistemas de ecuaciones lineales para las diferentes áreas de la ingeniería.
- Analizar las relaciones que existen entre las fuerzas, el desplazamiento, las velocidades y las aceleraciones de partículas y masas, mediante la segunda ley de Newton y el concepto de trabajo y energía, en la solución de problemas de cinética de partículas.
- Analizar las relaciones entre las fuerzas que actúan en un cuerpo rígido, la forma y la masa del mismo, y el movimiento producido.
- Seleccionar y emplear los diferentes instrumentos de medición en sistemas de monitoreo y control de variables físicas de procesos industriales.
- Expresar un algoritmo en un diagrama de flujo.
- Aplicar la codificación de los algoritmos con un lenguaje de programación (C o C++)
- Utilizar algoritmos numéricos para obtener soluciones aproximadas de modelos matemáticos de interés en física e ingeniería que no se pueden resolver por métodos analíticos, contando con elementos de análisis que le permitan elegir el método que proporcione el mínimo de error dependiendo de las condiciones del problema, utilizando como herramienta un lenguaje de programación.
- Calcular las potencias y rendimientos de actuadores lineales y motores hidráulicos y neumáticos.
- Sintetizar, calcular, seleccionar e integrar diversos elementos mecánicos en el diseño de máquinas, equipos y sistemas mecánicos.
- Modelar y estudiar la dinámica de los componentes básicos de sistemas electromecánicos.
- Aplicar las teorías de la ingeniería de control clásico para el análisis y diseño de los controladores que se implementan en la automatización de procesos.
- Elabora e interpreta dibujos de piezas mecánicas, así como tener la habilidad para realizar dibujos en la computadora.
- Monitorear los diferentes parámetros que generan vibraciones en sistemas mecánico y mecatrónicos.

## 6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1.	Sistemas Robóticos	1.1 Cronología de la robótica 1.2 Definiciones 1.3 Componentes de un sistema robótico 1.4 Grados de libertad 1.5 Espacio de trabajo 1.6 Clasificación 1.7 Programación por enseñanza 1.8 Programación textual 1.9 Aplicaciones computacionales 1.10 Aplicaciones prácticas
2.	Cinetoestática	2.1 Introducción 2.2 Descripciones espaciales 2.3 Transformaciones homogéneas 2.4 Representación Denavit-Hartenberg 2.5 Cinemática directa e inversa 2.6 Balance de fuerzas y momentos 2.7 El Jacobiano en la estática 2.8 Aplicaciones computacionales 2.9 Aplicaciones prácticas
3.	Dinámica	3.1 Introducción 3.2 Formulación Euler-Lagrange 3.3 Formulación Newton-Euler 3.4 Ecuaciones de movimiento 3.5 Dinámica inversa 3.6 Dinámica directa 3.7 Aplicaciones computacionales 3.8 Aplicaciones prácticas
4.	Control	4.1 Introducción 4.2 Planificación de trayectorias 4.3 Sistemas de Control 4.4 Control lineal 4.5 Control no-lineal 4.6 Estrategias de Control 4.7 Aplicaciones computacionales 4.8 Aplicaciones prácticas

## 7. Actividades de aprendizaje de los temas

Sistemas Robóticos
--------------------

Competencias	Actividades de aprendizaje
<p><b>Específica(s):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Comprender los conceptos básicos para el análisis de sistemas robóticos que permitan identificar y esquematizar los elementos que constituyen un robot manipulador, determinar los grados de libertad, definir su espacio de trabajo y aplicar su clasificación morfológica.</li> <li>Dominar algunas técnicas de programación de robots industriales.</li> </ul> <p><b>Genéricas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad de organizar y planificar</li> <li>Habilidades básicas de manejo de la computadora</li> <li>Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas.</li> <li>Capacidad crítica y autocrítica</li> <li>Trabajo en equipo</li> <li>Habilidades de investigación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El alumno aplicará los conceptos básicos que se emplean en el análisis de sistemas robóticos.</li> <li>El alumno determinará el espacio de trabajo de robots comerciales.</li> <li>El alumno aplicará las técnicas de programación en robots comerciales en tareas industriales de “tomar y colocar” (traslados), y “continuas” (soldadura).</li> </ul>
<b>Cinetoestática</b>	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p><b>Específica(s):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar el análisis cinemático de sistemas robóticos que permitan determinar la posición, velocidad y aceleración de puntos de interés utilizando métodos analíticos matriciales directos e inversos.</li> <li>Realizar el análisis estático de sistemas robóticos que permitan determinar las fuerzas y momentos bajo balance estático de puntos de interés utilizando métodos analíticos matriciales por medio del Jacobiano.</li> </ul> <p><b>Genéricas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conocimiento de las propiedades matriciales</li> <li>Habilidad de manejo de software de Ingeniería</li> <li>Habilidad para simular mediante modelaje matemático los sistemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El alumno analizará robots industriales mediante la determinación de la posición, velocidad y aceleración, empleando diferentes métodos y con la aplicación de software específico.</li> </ul>

<p>físicos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución de problemas</li> <li>• Trabajo en equipo</li> <li>• Capacidad de aprender</li> </ul>	
<b>Dinámica</b>	
<b>Competencias</b>	<b>Actividades de aprendizaje</b>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar el análisis dinámico de sistemas robóticos que permitan determinar las ecuaciones de movimiento de puntos de interés utilizando métodos analíticos matriciales directos e inversos.</li> </ul> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidad para trabajar en forma autónoma</li> <li>• Solución de problemas</li> <li>• Trabajo en equipo</li> <li>• Capacidad de aprender</li> <li>• Habilidad para simular mediante modelaje matemático los sistemas físicos</li> <li>• Habilidad de manejo de software de Ingeniería</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El alumno analizará robots industriales mediante la determinación de las ecuaciones dinámicas de movimiento, empleando diferentes métodos y con la aplicación de software específico.</li> </ul>
<b>Control</b>	
<b>Competencias</b>	<b>Actividades de aprendizaje</b>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar los historiales de movimiento que hagan que el efector final siga una trayectoria preestablecida</li> <li>• Conocer las arquitecturas de control de un sistema robótico.</li> </ul> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidad para trabajar en forma autónoma</li> <li>• Solución de problemas</li> <li>• Trabajo en equipo</li> <li>• Capacidad de aprender</li> <li>• Habilidad para simular mediante modelaje matemático los sistemas físicos</li> <li>• Habilidad de manejo de software de Ingeniería</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El alumno probará estrategias de control en robots industriales para tareas industriales donde se requieren seguir trayectorias predeterminadas, empleando diferentes métodos y con la aplicación de software específico.</li> </ul>

## 8. Práctica(s)

### Práctica 1.

A cada uno de los cuatro robots-manipuladores que se encuentran en la célula de manufactura del laboratorio del CIM (el Hidráulico, el Cartesiano, los 2 neumáticos) realizar las siguientes actividades:

- Realizar el diagrama esquemático.
- Calcular su volumen de trabajo.

### Práctica 2.

Al robot Mitsubishi de cinco grados de libertad, que se encuentra en la célula de manufactura del laboratorio del CIM, realizar las siguientes actividades:

- Generar la programación con la caja de enseñanza del robot (programación “on-line”) para una tarea de “tomar y colocar”; por ejemplo, el traslado de una pieza de un punto inicial a una ubicación para inspección en punto final
- Generar la programación con la caja de enseñanza del robot (programación “on-line”) para una tarea “tomar y colocar”; por ejemplo, el traslado de una pieza de un punto inicial a una ubicación para inspección en punto final
- Generar la programación con ayuda de un simulador del robot (programación “off-line”) para una tarea de “tomar y colocar”; por ejemplo, el traslado de una pieza de un punto inicial a una ubicación para inspección en punto final
- Generar la programación con ayuda de un simulador del robot (programación “off-line”) para una tarea “continua”; por ejemplo, un círculo sobre el plano frontal.

## 9. Proyecto de asignatura

### Objetivo:

El alumno desarrollará el proyecto de integración de un robot-manipulador de cinco grados a una celda de manufactura flexible, para que realice tareas de carga y descarga de piezas cilíndricas y prismáticas de una banda transportadora a un torno y/o fresadora de control numérico.

### Fundamentación:

En un mundo globalizado, la incorporación de la tecnología mecatrónica a los sistemas productivos ha permitido dar una ventaja competitiva a empresas que buscan mantenerse en el mercado al poder reducir sus tiempos y costos de producción. En ese sentido, la integración de sistemas robóticos que desarrollen tareas repetitivas a través de movimientos rápidos y precisos ha sido una tendencia creciente, especialmente en empresas donde se producen dispositivos para telefonía móvil.

Un robot manipulador o también llamado robot serial, consiste en una serie de eslabones que se mueven uno con respecto a otro por medio de articulaciones. Un aspecto característico de este tipo de robot es que uno de sus eslabones se encuentra fijo a la tierra y el otro extremo se encuentra libre. Al extremo libre del robot se le pueden incorporar diferentes tipos de herramientas o sistemas de sujeción, dependiendo del tipo de tarea donde operará el robot, brindándole al robot una de sus características distintivas con respecto a otras máquinas: la multifuncionalidad.

Dentro de las actividades típicas que los robots manipuladores realizan en un proceso



productivo están las llamadas tareas de “tomar y colocar”. Estas tareas consisten en movimientos de colocación, agarre, traslado, colocación y liberación de piezas. Se busca que, durante estas transiciones, los movimientos del robot sean suaves y reducir al mínimo el daño a los sistemas de actuación y lograr también que las piezas se caigan al ser trasladadas o sean golpeadas al ser depositadas.

El ingeniero debe tener en cuenta estos aspectos, de tal manera que la integración del sistema robótico a un sistema productivo le permita aprovechar todo su potencial de desempeño.

- **Planeación:**

Las actividades que deben desarrollarse por parte del alumno son las siguientes:

- Planear una trayectoria para la tarea de “tomar y colocar”
- Generar las gráficas de movimiento cinemático para la tarea
- Generar la programación con la caja de enseñanza del robot (programación “on-line”).
- Generar la programación con ayuda de un simulador del robot (programación “off-line”)
- Realizar las pruebas experimentales de la trayectoria propuesta
- Realizar las correcciones a la trayectoria propuesta
- Calcular los índices de desempeño del robot para la trayectoria propuesta
- Preparar la presentación de los resultados obtenidos

- **Ejecución:**

La ejecución de las actividades planeadas está diseñada para un periodo de un semestre (16 semanas). Cada actividad establecida en la planeación de ser cubierta conforme se vaya avanzado con el programa de la materia.

- **Evaluación:**

Se establecerán los siguientes criterios de evaluación del proyecto:

- a) Cumplimiento de las actividades
- b) Entrega del reporte escrito de su proyecto
- c) Defensa oral del proyecto
- d) Comparación de los índices de desempeño establecidos

## 10. Evaluación por competencias

La evaluación debe ser continua y formativa por lo que se debe considerar el desempeño en cada una de las actividades de aprendizaje, haciendo especial énfasis en:

- Ejercicios y problemas en clase
- Exposición de temas por parte de los alumnos con apoyo y asesoría del profesor
- Evaluación trabajos de investigación entregados en forma escrita
- Evaluación por unidad para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos
- Evaluación de las prácticas por unidad, considerando los temas que ésta contiene
- Evaluación de las aplicaciones del contenido de la materia
- Considerar reporte de un proyecto final que describa las actividades realizadas y las conclusiones del mismo



## 11. Fuentes de información

1. Craig, J. J., "Introduction to Robotics: Mechanics and Control", Pearson/Prentice Hall, 2005
2. Ollero, B. A., "Robótica: Manipuladores y robots móviles", Marcombo, 2001.
3. Barrientos, A., Peñin, L. F., Balaguer, C., "Fundamentos de Robótica", S.A. McGraw-Hill Interamericana de España, 2007.
4. Subir Kumar Saha, "Introducción a la Robótica", Mc Graw Hill, México, 2008
5. Página Web del curso