


|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
|  | <b>Nombre del documento:</b> Formato de Programa de Estudio de asignatura de Especialidad | <b>Código:</b> TecNM-AC-PO-007-02 |
|   |   | <b>Revisión:</b> 0                |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015</b> 8.3, 8.3.1                                     | <b>Página</b> 1 de 10             |

## 1. Datos Generales de la asignatura

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Nombre de la asignatura:</b> | <b>Control Avanzado y Aplicaciones para Robótica</b> |
| <b>Clave de la asignatura:</b>  | <b>ASD-2301</b>                                      |
| <b>SATCA<sup>1</sup>:</b>       | <b>2 – 3 - 5</b>                                     |
| <b>Carrera:</b>                 | <b>Ingeniería Mecatrónica</b>                        |

## 2. Presentación

### Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero Mecatrónico la capacidad para realizar estudios especializados en el control y la robótica, análisis avanzados de estabilidad e implementación de controladores apropiados para diversos sistemas robóticos, así como la profundización en labores de programación e implementación en diferentes sistemas, así como el uso de herramientas como visión, simulación de sistemas y diseño de esquemas de control para drones, vehículos, bípedos, o un determinado diseño mecatrónico desarrollado por el alumno.


La materia ha tenido un especial énfasis en profundizar campos de aplicaciones actuales además de líneas de investigación que en nuestros días son un tema usual en conferencias, seminarios, nuevos productos. Es importante saber que la robótica se ha diversificado así como los avances en la teoría de control, el quehacer profesional requiere estar preparado en estos nuevos retos y temas que afrontan las necesidades en la vida del Ingeniero Mecatrónico. Es una parte fundamental para incitar al estudiante para reforzar sus conocimientos matemáticos y que se motive seguir estudiando al término de su carrera.

La asignatura consiste en la integración de los temas más avanzados de control y robótica al alcance del programa de estudios, es la continuación inmediata de los últimos temas vistos en control, además de los temas que amplían los conocimientos de robótica del ingeniero mecatrónico.

Las materias que preceden a temas especializados de control y robótica son las siguientes:

Dinámica de sistemas, se requiere conocimiento de las unidades que se enfocan al modelado y obtención de las ecuaciones diferenciales que representan los distintos sistemas dinámicos.

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

|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
|  | <b>Nombre del documento: Formato de Programa de Estudio de asignatura de Especialidad</b> | <b>Código: TecNM-AC-PO-007-02</b> |
|   |   | <b>Revisión: 0</b>                |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.3, 8.3.1</b>                                     | <b>Página 2 de 10</b>             |

Control, en esta asignatura se requiere tener bien presente los fundamentos de la primera unidad, así como los temas de estabilidad y espacio de estados. Robótica, de esta asignatura será requerido el primer tema correspondiente a morfología de robots además de cinemática y dinámica de robots.

#### **Intención didáctica**

El temario contiene cuatro temas, contemplando en su primer tema la fundamentación matemática que requiere el análisis y entendimiento de los temas restantes, la teoría de estabilidad en el sentido de Lyapunov y el espacio de estados son esenciales para abarcar en futuro problemas de ingeniería más complejos que los que comprenden los sistemas lineales.

El tema dos contiene una revisión de algunos de los distintos controladores que hoy en día existen además del clásico PID visto en la asignatura de control. Estos controladores tienen distintas propiedades y es por ello que se revisa uno por uno tratando de concentrarse más en sus puntos débiles, fuertes, así como la forma de implementarlos.


El tema tres está especialmente dedicado a poner en práctica la interacción con robots industriales, configurar, programar, implementar tareas de control, son parte central a lo largo de cada subtema. Se pretende que el manipulador programado pueda realizar rutinas de estabilización a un *set point* predefinido, bajo algún parámetro de velocidad o aceleración bien conocido, asimismo rutinas que impliquen la repetitividad o sincronización con otros elementos y procesos. La familiarización con el lenguaje de cada caso y sus instrucciones son esenciales para llevar a cabo lo anterior.

El tema cuatro contempla enfocarse en distintos casos de estudio, juntar principalmente los temas uno y dos, para que el alumno diseñe esquemas de control realimentado, aplicando los diferentes algoritmos vistos en el tema dos a sistemas específicos cuyos modelos sean como los vistos en el tema uno, siendo difícil su implementación se recomienda usar software especializado en simulaciones numéricas para desarrollar correctamente la parte estructural de cada elemento. También se introduce a visión artificial.

Es de destacar llevar a la par actividades diversas como simulaciones y prácticas para vincular teoría y práctica.

El énfasis de esta materia es dar seguimiento a los últimos temas vistos en las materias de control y robótica que le preceden, para abrir el panorama al estudiante de que existen más disciplinas y subdisciplinas en las que puede especializarse.

Los temas están correlacionados de una forma estricta para la parte matemática, los algoritmos de control y terminando con la implementación en casos de estudio, sin embargo, el temario considera algunos otros casos en los que no necesariamente se requiere saber de dichos temas, como lo es la programación y visión artificial, aunque no

|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
|  | <b>Nombre del documento: Formato de Programa de Estudio de asignatura de Especialidad</b> | <b>Código: TecNM-AC-PO-007-02</b> |
|   |   | <b>Revisión: 0</b>                |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.3, 8.3.1</b>                                     | <b>Página 3 de 10</b>             |

pierden importancia.

Se sugiere una actividad integradora (proyecto final) que permita aplicar los conceptos estudiados, pero que también pueda relacionar con otras materias y es por ello que se requiere coordinar con otros cursos para que dichos proyectos sean lo más ambicioso posible.

Es de gran importancia utilizar herramientas computacionales y software de ingeniería. Herramientas de desarrollo como Matlab, RPL ó Python son recomendables puesto que son una opción para recrear la implementación de todos los algoritmos, sistemas y esquemas de operación vistos en clase.

El profesor tiene un papel fundamental para guiar a los estudiantes de este curso, puesto que se trata de los últimos temas de la carrera, pueden ser abrumadores y complejos, por ello es necesario que el profesor domine a la perfección todas las unidades tanto en teoría como en práctica para orientar y motivar al estudiante.

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


| Lugar y fecha de elaboración o revisión      | Participantes  | Observaciones  |
|--|--|--|
| Instituto Tecnológico de Tláhuac. 16/11/2020 | Academia de Ingeniería Eléctrica-Electrónica del Instituto Tecnológico de Tláhuac. | Reunión para la elaboración del Módulo de Especialidad en la carrera de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Tláhuac. |

### 4. Competencia(s) a desarrollar

| Competencia(s) específica(s) de la asignatura   |
|---|
| Realiza estudios, análisis, modelación y simulación de robots cuyas características son lineales o no lineales, implementando esquemas de control de lazo cerrado con algoritmos clásicos o modernos. |

### 5. Competencias previas

|   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conoce los principios que rigen el comportamiento de los sistemas lineales.</li> <li>• Identifica, modela y manipula sistemas dinámicos para predecir comportamientos.</li> <li>• Aplica métodos gráficos, analíticos y computacionales de análisis y síntesis para el diseño de esquemas de control de robots.</li> </ul> |
|---|

|   |  |                            |
|---|--|----------------------------|
|  | Nombre del documento: Formato de Programa de Estudio de asignatura de Especialidad | Código: TecNM-AC-PO-007-02 |
|   |  | Revisión: 0                |
|   | Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.3, 8.3.1                                     | Página 4 de 10             |


- Utiliza software de análisis matemático para la solución de ecuaciones diferenciales.

## 6. Temario

| No. | Temas  | Subtemas  |
|-----|--|---|
| 1   | Fundamentos matemáticos para el control avanzado de robots | 1.1 Modelos dinámicos no lineales<br>1.2 Espacio de estados lineal y no lineal<br>1.3 Planos de fase<br>1.4 Estabilidad en el sentido de Lyapunov   |
| 2   | Controladores clásicos y modernos.                         | 2.1 Controladores clásicos PID revisitados<br>2.2 Linealización por retroalimentación<br>2.3 Controladores robustos: Modos deslizantes continuos<br>2.4 Otras técnicas no lineales  |
| 3   | Programación de robots industriales                        | 3.1 Nociones generales de programación Aplicada a la Robótica<br>3.2 Diferentes técnicas de programación<br>3.3 Lenguajes y paquetes<br>3.4 Programación en celdas de trabajo robóticas<br>3.5 Implementación y análisis de pruebas |
| 4   | Tópicos especializados de robótica                         | 4.1 Proyectos con visión artificial<br>4.2 Control de manipuladores<br>4.3 Control de dirección de carro<br>4.4 Control de cuadratores<br>4.5 Control de bípedos<br>4.6 Control de robots paralelos                                 |

## 7. Actividades de aprendizaje de los temas


| 1.- Fundamentos matemáticos para control avanzado de robots   |   |
|---|---|
| Competencias  | Actividades de aprendizaje  |
| <p>Específica(s):</p> <p>Analiza sistemas cuya representación modelos matemáticos lineales y no lineales de ejemplos complejos, multivariables de múltiples entradas y múltiples salidas.</p> <p>Genéricas:</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formular distintos modelos matemáticos utilizando la metodología de Lagrange-Euler.</li> <li>• Programar ecuaciones diferenciales de alto orden para su solución por métodos computacionales.</li> <li>• Analizar la respuesta libre de</li> </ul> |

|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
|  | <b>Nombre del documento: Formato de Programa de Estudio de asignatura de Especialidad</b> | <b>Código: TecNM-AC-PO-007-02</b> |
|   |   | <b>Revisión: 0</b>                |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.3, 8.3.1</b>                                     | <b>Página 5 de 10</b>             |

|   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>• Habilidad para la búsqueda y análisis de información especializada proveniente de fuentes confiables</li> <li>• Habilidad de manejo de software de ingeniería</li> <li>• Habilidad de modelación</li> <li>• Habilidad de investigación</li> <li>• Habilidades básicas de manejo de la computadora</li> <li>• Conocimientos sólidos de la carrera</li> <li>• Solución de problemas</li> </ul> | <p>sistemas no lineales ante diferentes condiciones iniciales.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformar en espacio de estados los modelos obtenidos.</li> <li>• Obtener el plano de fase a mano y a computadora de un péndulo simple.</li> <li>• Encontrar los puntos de equilibrio del sistema.</li> <li>• Analizar la estabilidad de un sistema mecánico simple de segundo orden con el método directo de Lyapunov.</li> <li>• Proponer un robot cuya representación sea no lineal y de características con múltiples entradas y múltiples salidas para trabajar e investigar.</li> </ul> |
|---|---|

## 2.- Controladores clásicos y modernos


| Competencias   | Actividades de aprendizaje   |
|--|--|
| <p><b>Específica(s):</b></p> <p>Reconoce los esquemas clásicos de control de robots y sus propiedades junto con algoritmos más sofisticados y de recién generación</p> <p><b>Genéricas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>• Conocimientos sólidos de la carrera</li> <li>• Habilidades básicas en el modelado de sistemas</li> <li>• Solución de problemas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar y examinar los distintos controladores modernos como lo son: modos deslizantes, adaptable, retroalimentación de estados.</li> <li>• Hacer un reporte acerca de las aportaciones de los distintos controladores modernos, autores, fechas y usos.</li> <li>• Analizar y formular las condiciones de un controlador por torque computado para un robot RR de dos grados de libertad, incluir resultados de una simulación</li> </ul> |

|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
|  | <b>Nombre del documento: Formato de Programa de Estudio de asignatura de Especialidad</b> | <b>Código: TecNM-AC-PO-007-02</b> |
|   |   | <b>Revisión: 0</b>                |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.3, 8.3.1</b>                                     | <b>Página 6 de 10</b>             |

|   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Habilidades de investigación</li> <li>Habilidad de manejo de software de ingeniería</li> <li>Habilidades de investigación</li> </ul> | <p>numérica.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar y formular las condiciones de un controlador Super-Twisting continuo por modos deslizantes para un sistema mecánico de segundo orden, incluir resultados de una simulación numérica.</li> <li>Analizar y formular las condiciones para implementar un controlador adaptativo en un manipulador propuesto por el estudiante y validado por el profesor, incluir resultados de una simulación numérica.</li> <li>Discutir acerca de las diferentes propiedades de los controladores revisados.</li> <li>Revisar otros controladores no lineales, como técnicas de redes neuronales e inteligencia artificial.</li> <li>Implementar a criterio del profesor, una de estas o distintas técnicas y verificar su diferencia con los controladores clásicos.</li> </ul> |
|---|---|

**3.- Programación de robots industriales**


| Competencias  | Actividades de aprendizaje  |
|---|---|
| <p><b>Específica(s):</b></p> <p>Realizar y editar programas en distintos sistemas robóticos industriales, para implementar tareas de control, y cambios de parámetros.</p> <p><b>Genéricas:</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se realizarán prácticas de programación para que el alumno conozca los principales comandos que se utilizan en el control y manejo de diversos robots industriales.</li> <li>Desarrollará diversos programas y rutinas para implementarlos en los</li> </ul> |

|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
|  | <b>Nombre del documento: Formato de Programa de Estudio de asignatura de Especialidad</b> | <b>Código: TecNM-AC-PO-007-02</b> |
|   |   | <b>Revisión: 0</b>                |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.3, 8.3.1</b>                                     | <b>Página 7 de 10</b>             |

|   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>• Capacidad de organización y planificación</li> <li>• Conocimientos básicos de la carrera</li> <li>• Solución de problemas</li> <li>• Habilidad en el manejo de software de ingeniería</li> <li>• Habilidad para la búsqueda y análisis de información proveniente de fuentes diversas</li> </ul> | <p>robots industriales del laboratorio.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizarán prácticas donde se tenga considerada la interacción con varios dispositivos o procesos externos al robot industrial.</li> <li>• Se buscará información exacta y detallada acerca del controlador que tiene configurado por defecto el robot industrial utilizado.</li> </ul> |
|---|---|

4.- Tópicos especializados de robótica

| Competencias   | Actividades de aprendizaje  |
|--|---|
| <p>Específica(s): Realizar análisis y diseños de esquemas de control aplicados a robots de diversos tipos y configuraciones.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>• Conocimientos sólidos de la carrera</li> <li>• Habilidades básicas en el modelado de sistemas</li> <li>• Solución de problemas</li> <li>• Habilidades de investigación</li> <li>• Habilidad de manejo de software de ingeniería</li> <li>• Habilidades de investigación</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar en diagrama de bloques la interconexión Planta (robot)-Controlador.</li> <li>• Especificar las señales de salida y de entrada del robot.</li> <li>• Definir tareas de control de regulación o estabilización a un punto de operación.</li> <li>• Definir una tarea de control de seguimiento de trayectoria variante en el tiempo.</li> <li>• Proponer un algoritmo de control de los revisados: modos deslizantes, adaptable, torque computado, retro de estados.</li> <li>• Linealizar por retroalimentación de salida el caso de estudio de su elección e implementar un algoritmo</li> </ul> |

|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
|  | <b>Nombre del documento: Formato de Programa de Estudio de asignatura de Especialidad</b> | <b>Código: TecNM-AC-PO-007-02</b> |
|   |   | <b>Revisión: 0</b>                |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.3, 8.3.1</b>                                     | <b>Página 8 de 10</b>             |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>de control con este esquema.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Probar el esquema de control del sistema completo en simulación numérica y comparar las ventajas o desventajas frente a un algoritmo clásico PID.</li> </ul> |
|--|---|


## 8. Práctica(s)

|  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simular la respuesta a escalón e impulso de distintos sistemas con propiedades lineales y no lineales, evaluar diferentes condiciones iniciales.</li> <li>• Obtener el plano de fase de un péndulo simple con métodos computacionales, analizar los puntos de equilibrio.</li> <li>• Obtener el plano de fase de un péndulo doble con métodos computacionales, discutir acerca de su comportamiento caótico en función de sus condiciones iniciales.</li> <li>• Proponer un robot cuya representación dinámica sea no lineal o tomar alguno de los casos de estudios de la cuarta unidad para hacer una investigación de la actualidad en el uso de ese sistema elegido.</li> <li>• Masterizar distintos robots industriales, operación, puesta en marcha y configuración inicial, programar desde rutinas básicas y complejas cambiando parámetros especializados en distintos sistemas.</li> <li>• Establece parámetros para analizar los robots industriales utilizados para exponer las limitaciones del sistema debido a su naturaleza lineal o no lineal y las limitaciones del controlador ya implementado de fábrica.</li> <li>• Simular diversos algoritmos de control modernos sobre un sistema mecánico de segundo orden bajo perturbaciones e incertidumbres, comparar los resultados.</li> <li>• Desarrollar un esquema de control de lazo cerrado con un controlador moderno con uno de los casos de estudio de la cuarta unidad o alternativamente con el proyecto integrador propuesto desde inicio de semestre.</li> <li>• Aplica el controlador clásico para comprobar las diferencias con los controladores modernos.</li> </ul> |
|--|

## 9. Proyecto de asignatura

|  |
|--|
| <p>El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fundamentación:</b> marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual</li> </ul> |
|--|



|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
|  | <b>Nombre del documento: Formato de Programa de Estudio de asignatura de Especialidad</b> | <b>Código: TecNM-AC-PO-007-02</b> |
|   |   | <b>Revisión: 0</b>                |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.3, 8.3.1</b>                                     | <b>Página 9 de 10</b>             |


se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.

- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.
- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a desarrollar.
- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

## 10. Evaluación por competencias

Son las técnicas, instrumentos y herramientas sugeridas para constatar los desempeños académicos de las actividades de aprendizaje.

- Mapa conceptual
- Examen
- Esquemas
- Representaciones gráficas o esquemáticas
- Mapas mentales
- Ensayos
- Reportes
- Resúmenes
- Rúbrica

|   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
|  | <b>Nombre del documento: Formato de Programa de Estudio de asignatura de Especialidad</b> | <b>Código: TecNM-AC-PO-007-02</b> |
|   |   | <b>Revisión: 0</b>                |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.3, 8.3.1</b>                                     | <b>Página 10 de 10</b>            |

- Lista de cotejo
- Matriz de valoración
- Guía de observación

## 11. Fuentes de información

1. Craig, John J. *Robótica*. Prentice Hall, 2006.
2. Ioannou, P & Baris F. *Adaptive Control Tutorial*. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2006.
3. Khalil, H. *Nonlinear Systems*. Prentice Hall, 1996.
4. Slotine, J. J. E., W., Li. *Applied Nonlinear Control*. Englewood Cliffs. Prentice Hall, 1991.
5. Spong, M., & Vidyasagar, M. *Robot Dynamics & Control*. Estados Unidos de America: John Wiley & Sons, 1989.
6. Vidyasagar, M. *Nonlinear Systems Analysis* 2<sup>nd</sup> edition. Englewoods Cliffs. Prentice Hall, 1993.
7. Sossa Azuela, Juan H. (2006) Rasgos descriptores para el reconocimiento de objetos. Instituto Politécnico Nacional
8. V. Utkin, *Sliding Mode Control in Electro-Mechanical Systems*, 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2009.
9. *Yaskawa Motoman Robotics*. (13 de Febrero de 2014). Obtenido de <http://www.motoman.com>
10. Y. Shtessel, C. Edwards, L. Fridman, and A. Levant, *Sliding mode control and observation*. New York, NY, USA: Birkhauser, 2014.