UNIVERSIDAD DE SONORA
Unidad Regional Centro
División de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
LICENCIATURA INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Nombre de la Asignatura: CONTROL DIGITAL					
Clave: 4653	**Créditos:** 6	**Horas totales:** 80	**Horas Teoría:** 1	**Horas Práctica:** 3	**Horas Semana:** 5
Modalidad: Presencial			**Eje de Formación:** Profesionalizante		
Elaborado por: VÍCTOR HUGO BENÍTEZ BALTAZAR, CARLOS FIGUEROA NAVARRO.					
Antecedente: Tópicos de Matemáticas Discretas, Control Analógico			**Consecuente:** Implementación de Sistemas de Control		
Carácter: Obligatoria			**Departamento de Servicio:** Ingeniería Industrial		

Propósito:
La materia de Control Digital es una asignatura que aborda la problemática del análisis y diseño de sistemas de control en el ámbito digital. Se estudian las técnicas que permiten implementar controladores por medio de microcontroladores y procesadores digitales de señales. El curso consiste en proporcionar al alumno el conocimiento y las capacidades mínimas necesarias para analizar y diseñar de una manera efectiva sistemas controlados por computadora.

I. Contextualización

Introducción:

Una consecuencia del avance experimentado por la computación digital ha sido que prácticamente todos los sistemas de control construidos hoy día se basan en microprocesadores y microcontroladores. La utilización de los sistemas de control basados en computadora, permiten obtener especificaciones más robustas que la obtenida con los sistemas analógicos, así como el hecho de que pueden posibilitar nuevas funcionalidades y aplicaciones.

El Control Digital ha desempeñado un papel muy importante en el avance de la ingeniería y la ciencia. Estos controles, son en la actualidad una parte importante de los procesos modernos industriales de manufactura. Además, tienden ser más complejos y pequeños, por lo que resulta importante para que un egresado de Ingeniería en Mecatrónica ser capaz de realizar el diseño de estos sistemas de control.

Las aplicaciones de estos dispositivos van de un simple encendido y apagado de una lámpara hasta procesos tan complicados y veloces como el diseño de sistemas pilotos automáticos en la industria aeroespacial. Sin duda alguna los estudiantes de ingeniería en mecatrónica se enfrentarán de aquí en delante con problemas que requieren de ser analizados o controlados en forma digital. Por esta razón es imprescindible que los estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica estudien y apliquen técnicas para el control digital.

Por lo anterior, se observa la relevancia de esta asignatura en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, por tanto, se plantea que el fin de la asignatura es: desarrollar la capacidad en el alumno para integrar los sistemas de control discreto empleando una computadora y microprocesadores para el control de procesos.

En efecto el control digital es una implementación de control empleando lógica programada. Como

características básicas del control digital se pueden mencionar las siguientes: No existe límite en la complejidad del algoritmo, evento que sí sucedía anteriormente con los sistemas analógicos. Además, se logra mayor facilidad para efectuar ajustes y cambios necesarios. Por el mismo motivo anterior un cambio en un control analógico implica, al menos, un cambio de componentes si no un cambio del controlador completo. De igual manera se tiene mayor, exactitud y estabilidad en el cálculo debido a que no existen derivas u otras fuentes de error.

El control digital implica el uso del computador con otros fines como por ejemplo alarmas, archivo de datos, administración; por tanto, ofrece grandes ventajas. En virtud de la digitalización actual, la asignatura es importante para los conocimientos de control que debe poseer el Ingeniero en Mecatrónica.

En esta materia el alumno adquiere las habilidades y conocimientos necesarios para analizar y diseñar sistemas de control digital. Usa técnicas que le permiten transformar un sistema del dominio análogo a lo digital y viceversa, con el fin de implementar controladores por medio de computadoras, microcontroladores y otros métodos. Las unidades didácticas se describen a continuación.

En la unidad didáctica I se inicia con el análisis de los sistemas representados en tiempo discreto por medio de técnicas de muestreo. Se estudian los componentes de un sistema discreto tales como los convertidores A/D y D/A, el rol que tiene el procesador digital. Se estudia la transformada Z como técnica de análisis de los sistemas digitales. Cabe mencionar que la transformada Z es la equivalente a la transformada de Laplace, pero en variable discreta, mientras que la de Laplace es para variable continua.

En la unidad didáctica II aborda el tema de la conversión de las señales analógicas en digitales mediante el muestreo y el proceso inverso, el de convertir una señal digital en una de naturaleza analógica que pueda ser aplicada a la planta o proceso industrial.

En la unidad didáctica III se estudian las diferencias entre los sistemas de control digital en lazo abierto y lazo cerrado con el fin de tener un panorama amplio de la conveniencia de aplicar una u otra arquitectura en el diseño de controladores.

En la unidad didáctica IV se estudia la respuesta en el tiempo de un sistema discreto y se compara con la respuesta obtenida en los sistemas analógicos. Se examina el mapeo entre los dominios de los sistemas representados en tiempo continuo S, con los discretos en Z.

En la unidad didáctica V se aprende el diseño de sistemas de control digital por medio del modelado del proceso a ser controlado. Se estudia el diseño de algoritmos de control que cumplan especificaciones de desempeño para su correcta implementación por una computadora.

En la unidad didáctica VI Se aborda una eficaz técnica de diseño como lo es la asignación de polos. También se estudia la técnica de estimación de estados. Para realizar un controlador por asignación de polos, debe conocerse a priori el modelo matemático que representa la dinámica del sistema mediante la función de transferencia, donde el comportamiento dinámico del lazo cerrado es especificado por el usuario.

En la unidad didáctica VII trata de los criterios de estabilidad de los sistemas de control digital en lazo cerrado. Las técnicas para el estudio de la estabilidad de sistemas de control son analizadas en esta unidad. En general, los métodos de estudio de la estabilidad de sistemas continuos son también aplicables al análisis de sistemas discretos con algunas modificaciones. Estos métodos incluyen el criterio de Routh, el método del lugar de las raíces y los métodos de análisis frecuencial.

En la unidad didáctica VIII finalmente se estudia el diseño de filtros digitales, lo cual es uno de los temas de más aplicación y requiere de sólidos conocimientos en diseño de sistemas de control discretos.

Perfil del(los) instructor(es):	Doctor en Ciencias o Maestro en Ingeniería con formación en el área de la mecatrónica y/o la electrónica. Poseer licenciatura en Ingeniería en Mecatrónica, Ingeniería Eléctrica o Ingeniería Electrónica. Con experiencia docente y profesional comprobada de al menos dos años en las áreas de la automatización y control.

II. Competencias a lograr

Competencias genéricas a desarrollar:

- **Capacidad de aprender y actualizarse permanentemente.** Articula saberes de diversos campos y establece relaciones entre ellos y su vida cotidiana.
- **Trabajo colaborativo.** Asume una actitud constructiva, congruente con los conocimientos y habilidades con los que cuenta dentro de distintos equipos de trabajo.
- **Capacidad para la toma de decisiones.** Evalúa y sopesa información importante para identificar los aspectos relevantes. Define la prioridad para la solución del problema en términos de impacto y urgencia.
- **Capacidad para realizar investigación básica y aplicada.** Identifica los sistemas y reglas o principios medulares que subyacen a una serie de fenómenos.
- **Competencia Digital. Aplica herramientas digitales para el pensamiento reflexivo, la creatividad y la innovación.**

Competencias específicas:

- HABILIDAD PARA DESARROLLAR HARDWARE Y/O SOFTWARE PARA APLICACIONES ESPECÍFICAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
  - Construir sistemas de computación diseñados para realizar funciones en tiempo real para efectuar necesidades específicas. Estructurar un sistema embebido con componentes que se encuentran incluidos en la placa base asociada a una computadora. Diseñar sistemas para dispositivos sencillos y elaborar la electrónica que lo controle.
- HABILIDAD PARA DESARROLLAR SISTEMAS DE CONTROL Y DE AUTOMATIZACIÓN
  - Analizar y simular los sistemas de control por técnicas clásicas y modernas donde las variables sean de naturaleza digital. Aplicará los conocimientos aprendidos en control analógico para realizar la conversión digital y construir controladores digitales.

Objetivo General:

Obtener los conocimientos necesarios para el análisis y diseño de sistemas de control en tiempo discreto empleando técnicas de muestreo y reconstrucción con apoyo en tecnología de simulación computacional. Utilizar los conceptos básicos de la teoría del control digital para: analizar la estabilidad de los sistemas discretos; diseñar esquemas de observación y control para sistemas discretos; aplicar la teoría de sistemas discretos a diversos casos de estudio.

Objetivos Específicos:

1. Estudiar el concepto de transformada Z en el control digital.
2. Analizar y diseñar sistemas de control discretos por medio de la respuesta en la frecuencia.
3. Usar técnicas de simulación computacional para analizar y diseñar sistemas de control discretos.
4. Determinar el error del estado estacionario.
5. Diseñar controladores digitales.
6. Obtener sistemas con la técnica de asignación de polos.
7. Obtener sistemas discretos estables.
8. Diseñar e implementar filtros digitales e integrar los conocimientos aprendidos en un proyecto final.

Unidades Didácticas:

Unidad Didáctica I – SISTEMAS EN TIEMPO DISCRETO Y LA TRANSFORMADA Z.
unidad didáctica II – MUESTREO Y RECONSTRUCCIÓN.
Unidad Didáctica III – SISTEMAS EN LAZO ABIERTO Y LAZO CERRADO.
Unidad Didáctica IV – RESPUESTA EN EL TIEMPO.
Unidad Didáctica V – DISEÑO DE CONTROLADORES DIGITALES.
Unidad Didáctica VI – ASIGNACIÓN DE POLOS Y ESTIMACIÓN DE ESTADOS.
Unidad Didáctica VII – ESTABILIDAD DE SISTEMAS DISCRETOS.
Unidad Didáctica VIII – FILTROS DIGITALES.

III. Didáctica del programa

Unidades Didácticas:

Unidad didáctica I. Sistemas en tiempo discreto y la transformada Z
En la unidad I se inicia con el análisis de los sistemas representados en tiempo discreto por medio de técnicas de muestreo. Se estudian los componentes de un sistema discreto tales como los convertidores A/D y D/A, el rol que tiene el procesador digital. Se estudia la transformada Z como técnica de análisis de los sistemas digitales.

- Introducción a los sistemas en tiempo discreto.
- La transformada Z.
- Propiedades de la transformada z.
- Solución de ecuaciones a diferencias.

Unidad didáctica II. Muestreo y reconstrucción
En la unidad II el alumno aprende a analizar los sistemas discretos por medio de las técnicas de muestreo y reconstrucción que permiten la conversión e interacción de los sistemas de control digital con los fenómenos analógicos.

- Sistemas de control muestreados.
- El muestreo ideal.
- Evaluación y propiedades de G*.
- Reconstrucción de datos.
- Retenedor de orden cero y uno.

Unidad didáctica III. Sistemas en lazo abierto y lazo cerrado
En la unidad III el alumno distingue entre un sistema continuo, un sistema muestreado y un sistema discreto. Así mismo aprende diferentes representaciones de la transformada Z y la representación en espacio de estado de los sistemas discretos.

- La relación entre G(Z) y G*(S).
- La función de transferencia pulso.
- Sistemas en lazo abierto conteniendo filtros digitales.
- La transformada Z modificada.
- Sistemas con retardo.
- Modelos en espacio de estados.
- Ecuaciones de estado discretas.

Unidad didáctica IV. Respuesta en el tiempo
En esta unidad el alumno distingue los dominios en continuo S y en discreto Z, así como la relación entre ellos. Adquiere los conocimientos para determinar el error en estado estacionario.

- Ecuación característica.
- Mapeo del plano S al plano Z.
- Error en estado estacionario.

Unidad didáctica V. Diseño de controladores digitales
En esta unidad el alumno adquiere los conocimientos necesarios para analizar y diseñar sistemas de control digital a partir de especificaciones de desempeño. Reconoce la estabilidad como un atributo importante de los controladores. Diseña compensadores y controladores discretos.

- Especificaciones de un sistema de control digital.
- La respuesta transitoria como especificación de desempeño de un controlador.
- Estabilidad.
- Compensadores.
- Controladores PID.

Unidad didáctica VI. Asignación de polos y estimación de estados
En esta unidad el alumno adquiere los conocimientos necesarios para diseñar controladores por medio de la técnica de asignación de polos. Conoce los fundamentos de la estimación de estados por medio de observadores.

- Asignación de polos.
- Estimación de estados.
- Observadores.
- Función de transferencia de controladores.
- Ecuación característica en lazo cerrado.
- Ecuación de estado en lazo cerrado.

Unidad didáctica VII. Estabilidad de sistemas discretos
En la unidad VI el alumno adquiere los conocimientos para analizar y determinar la estabilidad de los sistemas discretos en base a diferentes criterios y pruebas realizadas.

- Transformación bilineal.
- Criterio de Routh.
- Estabilidad de Jury.
- Criterio de Nyquist.

Unidad didáctica VIII. Filtros digitales

- Transformación rápida de Furier.
- Procesado de señal digital.
- Teorema de Nyquist-Shanon.
- Filtro paso alto.
- Filtro paso bajo.
- Filtro paso banda.

Criterios de desempeño:

1. Elaboración de tareas en fechas establecidas.
2. Elaboración de prácticas de laboratorio.
3. Entrega de reportes de prácticas bajo formato pre establecido por el profesor.
4. Asistencia de acuerdo al reglamento.
5. Presentar los exámenes en las fechas programadas.
6. Trabajo en equipo.

Experiencias de Enseñanza / procesos y objetos de aprendizaje requeridos:

1. Exposición del profesor de los temas teóricos.
2. Exposición de casos.
3. Actividades en laboratorio.
4. Demostraciones por medio de simulación computacional.

Experiencias de aprendizaje:

1. Lecturas complementarias en revistas de tecnología digital.
2. Resúmenes críticos de artículos de revistas y/o memorias de congresos.
3. Tareas.
4. Prácticas experimentales de laboratorio.
5. Proyecto final en equipo.

Recursos didácticos y tecnológicos (material de apoyo):

1. Laptop del participante y del instructor.
2. Cañón.
3. Pintarrón.
4. Conexión a internet.
5. Equipo de laboratorio.
6. Bases de datos de biblioteca.
7. Prototipos didácticos de laboratorio de Mecatrónica.

Bibliografía	*Básica/ Complementaria*
Charles L. Phillips, Troy Nagle, Aranya Chakrabortty. (2014). Digital Control System Analysis & Design. 4ta edition. Edit. Pearson.	***Básica***
Katsuhiko Ogata. (1995). Discrete-Time Control Systems. 2da edition. Edit. Pearson.	***Básica***
Dogan Ibrahim. (2006). Microcontroller Based Applied Digital Control. 1ra edition. Edit. Wiley.	***Complementaria***
Gene F. Franklin, J. David Powell, Michael L. Workman, (1997). Digital Control of Dynamic Systems. 3ra edition. Ed. Addison-Wesley.	***Complementaria***
Yoshifumi Okuyama. (2016). Discrete Control Systems. Edit. Springer.	***Complementaria***

IV. Evaluación Formativa de las Competencias

#	Tipo (C,H,A)	Evidencias a evaluar	Criterios de evaluación	Técnicas e Instrumentos de Evaluación	Ponderación %
1	C	Examen parcial	Se evaluará el nivel de conocimientos adquiridos en relación a las unidades I, II y III	Examen escrito	20 %
2	C	Examen parcial	Se evaluará el nivel de conocimientos adquiridos en relación a las unidades IV y V	Examen escrito	20 %
3	C	Examen parcial	Se evaluará el nivel de conocimientos adquiridos en relación a las unidades VI y VII	Examen escrito	20 %
4	H, A	Tareas entregadas en tiempo sin prorroga	Las tareas se revisarán en fecha específica sin haber prorroga a su entrega	Evidencia de tarea entregada	10 %
5	C, H, A	Prácticas de laboratorio	Se evaluarán los conocimiento, habilidades y actitudes en la realización de prácticas de laboratorio	Práctica en fecha específica en laboratorio sin prórroga para su realización	15 %
6	C, H, A	Proyecto final	Se evaluarán los conocimiento, habilidades y actitudes en la realización del proyecto final a realizarse en equipo	Proyecto final en fecha específica en laboratorio sin prórroga para su realización	15 %
Total					**100 %**

C: Conocimientos H: Habilidades A: Actitudes