

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
LICENCIATURA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA



PROGRAMA DE ESTUDIOS

CONTROL ANALÓGICO Y DIGITAL II

Elaboró:	Ing. José Luís Ávila Gómez	Facultad de Ingeniería
	Dr. Eduardo Rodríguez Ángeles	Facultad de Ingeniería
	M. en C. Sergio Jiménez García	Facultad de Ingeniería
	Dr. Giorgio Mackenzie Cruz Martínez	Facultad de Ingeniería
Asesoría técnica:	Lic. Araceli Rivera Guzmán	Dirección de Estudios Profesionales
Fecha de aprobación:	H. Consejo Académico 10 de enero de 2022	H. Consejo de Gobierno 12 de enero de 2022

Facultad de Ingeniería



Índice

	Pág.
I. Datos de identificación.	3
II. Presentación del programa de estudios.	4
III. Ubicación de la unidad de aprendizaje en el mapa curricular.	7
IV. Objetivos de la formación profesional.	9
V. Objetivos de la unidad de aprendizaje.	10
VI. Contenidos de la unidad de aprendizaje y su organización.	11
VII. Acervo bibliográfico.	13





I. Datos de identificación.

Espacio académico donde se imparte

Estudios profesionales

Unidad de aprendizaje Clave

Carga académica

<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="10"/>
Horas teóricas	Horas prácticas	Total de horas	Créditos

Carácter Tipo Periodo escolar

Área curricular Núcleo de formación

Seriación

UA Antecedente UA Consecuente

Formación común

No presenta



II. Presentación del programa de estudios.

Los ingenieros electrónicos egresados de la Facultad de Ingeniería de la UAEM se encuentran en área predominantemente industrial, donde principalmente operan plantas del ámbito automotriz y de alimentos. Siendo estas las que por la tendencia mundial sufren actualizaciones en sus procesos y están sujetos a las nuevas tecnologías necesarias para mantener los estándares de calidad y eficiencia internacional. Para los egresados esto representa un desafío que para encararlo requiere que tengan competencias en diversas áreas de la electrónica, especialmente en el control automático.

El área de control genera las competencias referentes a las técnicas de análisis y síntesis de controladores analógico y digital, de tal manera que se pueda desarrollar adecuadamente cualquier proceso industrial que requiera mantener sus procesos dentro de los parámetros que las normas y la calidad se los demanden.

La Unidad de Aprendizaje Control analógico y digital II es la unidad consecuente de la UA Control analógico y digital I, por lo que el estudiante debe de contar con las competencias necesarias para modelar, analizar y diseñar sistemas de control aplicando los métodos en función del tiempo continuo (analógico) y discreto (digital).

Se estructura en 4 unidades temáticas, en la primera unidad se expone la teoría que corresponde a la función de respuesta en frecuencia, donde se proporcionan los principios del comportamiento de un sistema lineal invariante en el tiempo con respecto a la frecuencia, así como la manera de transformar una función de transferencia de un sistema, que está en el dominio de la variable “s” de la transformada de Laplace, al dominio de la frecuencia “j ω ”, obteniendo así la función de respuesta a la frecuencia del sistema. Posteriormente se presenta lo que se conoce como análisis de Bode, en donde se muestra el desarrollo para graficar la magnitud y la fase de cualquier función de transferencia en función de la frecuencia donde se podrá observar su comportamiento mediante gráficas asintóticas.

Continuando con el mismo enfoque, se proporciona otra técnica de análisis en frecuencia llamada análisis de Nyquist el cual es un método gráfico para determinar el comportamiento de un sistema proporcionando información con respecto a la magnitud, fase y frecuencia a partir de una gráfica polar (gráfica de Nyquist). Por último, con base a la teoría expuesta del análisis de Bode y de Nyquist se desarrollan los criterios en el dominio de la frecuencia para determinar la estabilidad de cualquier sistema lineal.

La segunda unidad temática toma como primer tema a los parámetros de rendimiento en función de la frecuencia, para los cuales se proporciona su definición y el desarrollo matemático para deducir su expresión analítica y finalmente mostrar la relación de estos parámetros de rendimiento en frecuencia con los parámetros de rendimiento en términos del tiempo. Los siguientes temas corresponden a la teoría de compensación, en donde se expone en primer lugar los casos mediante los cuales se hace necesario el aplicar las técnicas de compensación, posteriormente se van explicando cada uno de los compensadores que son el de adelanto, de



atraso y la combinación adelanto-atraso, presentando sus modelos ideal y el práctico, después se analizan los efectos que producen cada uno de los compensadores dentro del sistema de lazo cerrado y finalmente con base a los fundamentos anteriores se proporcionan los métodos de diseño para cada tipo de compensador.

En la tercera unidad temática se resalta el hecho de que hay un cambio conceptual, debido a que las técnicas y métodos de control que se exponen en esta unidad corresponden a la teoría del control moderno, cambiando la manera en que se modela analíticamente a los sistemas, ya que tales técnicas están basadas en una representación matricial conocida como forma canónica de espacio de estados. Por lo tanto, para construir esa forma canónica se tienen que definir las variables de estado y seleccionar el método que se utilizará según los requerimientos de diseño según corresponda a la forma canónica controlable, observable o modal, y con base a las variables obtenidas de un sistema físico. Posteriormente, se muestra el proceso para construir la función de transferencia del sistema a partir de la forma canónica matricial, y con esto poder analizar la respuesta dinámica del sistema utilizando los métodos del control clásico. Finalmente, se presenta la técnica de control moderno de retroalimentación de estados utilizando observadores de estado, que se basa en las propiedades de controlabilidad y observabilidad del sistema.

En la cuarta unidad temática se exponen métodos y técnicas para diseñar controladores digitales, así como presentar los diferentes análisis de estabilidad existentes para sistemas digitales y su relación con la teoría de espacio de estados. Es importante resaltar que la inserción de estas técnicas de control es necesaria debido a que los sistemas de control continuo en la actualidad son reemplazados o actualizados por sistemas de control discreto, esto debido a que estos últimos tienen algunas ventajas tales como el ser menos costosos, también son menos sensibles al ruido eléctrico y radiación electromagnética, por lo que en resumen un control digital es muy fiable.

Por lo anterior, esta UA es parte fundamental en la formación del Ingeniero en Electrónica, debido a que aporta al perfil del Ingeniero en Electrónica el desarrollar la capacidad de analizar y diseñar sistemas de control en forma lógica, metodológica, sistemática, pertinente y correcta, aplicando principios básicos bien fundamentados en su planteamiento, con el propósito de sentar las bases para que en el ámbito profesional sea capaz de analizar, diseñar, controlar e implementar sistemas de control industriales.

Por otra parte, es importante mencionar que esta UA, además de apoyar en la preparación integral del estudiante de Ingeniería en Electrónica, será una plataforma o un antecedente para otras UA relacionadas con el área de control, como lo es Control de procesos Industriales, Control avanzado, y Robótica.



Por lo anterior, el profesor que imparta esta UA debe realizar la planeación del curso e impartir el aspecto teórico de los temas, pero también debe proporcionar problemas o ejemplos lo más apegados a la realidad, de tal manera que el estudiante pueda observar el contexto donde los conocimientos adquiridos en esta UA tienen aplicaciones reales, sobre todo en procesos industriales. Por otra parte, el profesor debe utilizar herramientas tales como software especializado (MatLab, LabVIEW, entre otros) para reforzar los conocimientos adquiridos por los estudiantes tanto en el aspecto analítico como para equilibrar el aspecto práctico, y también debe aplicar diversas estrategias de aprendizaje como actividades grupales, trabajos de investigación, prácticas de simulación y prácticas físicas en laboratorio.

Finalmente, el estudiante debe tener capacidad de análisis y síntesis, capacidad de organización y planificación, debe ser competente en el manejo de computadora e instrumentos electrónicos de medición, tales como osciloscopio, multímetro, generadores de señales, fuentes de alimentación, etc., debe ser competente en la búsqueda y análisis de información, y debe tener la capacidad de integrar y aplicar los conocimientos.





III. Ubicación de la unidad de aprendizaje en el mapa curricular

MAPA CURRICULAR DE LA LICENCIATURA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA, 2019

	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6	PERIODO 7	PERIODO 8	PERIODO 9	PERIODO 10	
O B L I G A T O R I A S	Programación básica 2 2 4 6	Epistemología 3 1 4 7	Probabilidad y estadística 3 1 4 7	Métodos numéricos 1 3 4 5	Modelado de sistemas dinámicos aplicados 3 1 4 7	Control analógico y digital I 4 2 6 10	Control analógico y digital II 4 2 6 10	Instrumentación 2 4 6 8	Filtrado de señales 3 3 6 9		
	Algebra superior 3 1 4 7	Algebra lineal 3 1 4 7	Metrología 2 4 6 8	Circuitos electrónicos 3 3 6 9	Sistemas lineales y señales 4 2 6 10	Sistemas digitales 2 4 6 8	Microcontroladores 2 4 6 8	Programación paralela y sistemas operativos en tiempo real 2 3 5 7	Sistemas embebidos 0 4 4 4		
	Geometría analítica 3 1 4 7	Cálculo II 3 1 4 7	Cálculo III 3 1 4 7	Cálculo avanzado 3 1 4 7	Electrónica I 3 3 6 9	Electrónica II 3 3 6 9	Electrónica de potencia I 2 3 5 7	Electrónica de potencia II 2 3 5 7	Redes de comunicación 2 3 5 7		
	Cálculo I 3 1 4 7	Ecuaciones diferenciales 3 1 4 7	Dinámica 3 1 4 7	Ciencia, tecnología y sociedad 1 2 3 4	Administración de la producción 2 1 3 5	Instalaciones eléctricas 3 1 4 7	Costos y evaluación de proyectos 2 2 4 6	Mantenimiento industrial 3 1 4 7			
	Expresión oral y escrita 0 3 3 3	Estatica 3 1 4 7	Física de semiconductores 3 1 4 7	Dibujo electrónico 1 3 4 5	Máquinas eléctricas 2 2 4 6	Física de ondas 3 1 4 7	Ética profesional 2 2 4 6	Calidad 3 1 4 7			
		Química 3 1 4 7	Termodinámica 3 1 4 7	Teoría electromagnética I 4 2 6 10	Teoría electromagnética II 4 2 6 10	Radiación y propagación electromagnética 2 3 5 7	Comunicación I 3 2 5 8	Comunicación II 3 2 5 8			
O P T A T I V A S	El ingeniero y su entorno socioeconómico 3 1 4 7	Inglés 5 2 2 4 6	Inglés 6 2 2 4 6	Inglés 7 2 2 4 6	Inglés 8 2 2 4 6			Integrativa profesional* - - - 6	Control de procesos industriales 2 4 6 8		
								Optativa 1 3 1 4 7			
								Optativa 2 3 1 4 7			
	HT 14 HP 8 TH 23 CR 97	HT 20 HP 8 TH 30 CR 48	HT 19 HP 11 TH 30 CR 48	HT 16 HP 18 TH 31 CR 48	HT 20 HP 13 TH 33 CR 53	HT 17 HP 14 TH 31 CR 48	HT 16 HP 15 TH 30 CR 46	HT 16 HP 14** TH 29** CR 62	HT 13 HP 18 TH 29 CR 42	HT -- HP ** TH ** CR 30	





Proyecto curricular de la Licenciatura de Ingeniería en Electrónica
Reestructuración, 2019
Secretaría de Docencia • Dirección de Estudios Profesionales



DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES DE APRENDIZAJE OPTATIVAS

PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6	PERIODO 7	PERIODO 8	PERIODO 9	PERIODO 10
								Bioelectrónica [†]	
								3	
								1	
								4	
								7	
								Ingeniería de audio	
								3	
								1	
								4	
								7	
								Robótica	
								3	
								1	
								4	
								7	
								Electrónica de potencia en sistemas sustentables	
								3	
								1	
								4	
								7	
								Electrónica de los sistemas de transporte	
								3	
								1	
								4	
								7	
								Telefonía	
								3	
								1	
								4	
								7	
								Control avanzado	
								3	
								1	
								4	
								7	

SIMBOLOGÍA

Unidad de aprendizaje	HT: Horas Teóricas
	HP: Horas Prácticas
	TH: Total de Horas
	CR: Créditos

⇒ 34 líneas de serbón.

Créditos mínimos 22 y máximos 56 por periodo escolar.

*Actividad académica.

**Las horas de la actividad académica.

†UA optativa que debe impartirse, cursarse y acreditarse en el idioma inglés.

	Núcleo básico obligatorio.
	Núcleo sustantivo obligatorio.
	Núcleo Integral obligatorio.
	Núcleo Integral optativo.

PARÁMETROS DEL PLAN DE ESTUDIOS

Núcleo básico obligatorio: cursar y acreditar 22 UA	56 31 87 143	Totales del núcleo básico: acreditar 22 UA para cubrir 143 créditos
Núcleo sustantivo obligatorio: cursar y acreditar 21 UA	58 47 105 163	Totales del núcleo sustantivo: acreditar 21 UA para cubrir 163 créditos
Núcleo Integral obligatorio: cursar y acreditar 13 UA + 2*	28 88** 94** 130	Totales del núcleo Integral: acreditar 13 UA + 2* para cubrir 144 créditos
Núcleo Integral optativo: cursar y acreditar 2 UA	8 2 8 14	

TOTAL DEL PLAN DE ESTUDIOS	
UA obligatorias	56 + 2 Actividades académicas
UA optativas	2
UA a acreditar	58 + 2 Actividades académicas
Créditos	480



Departamento de Desarrollo Curricular

Programa de Estudios
Aprobado por los HH. Consejos Académico y de Gobierno



IV. Objetivos de la formación profesional.

Objetivos del programa educativo:

Son objetivos de los estudios profesionales de la Licenciatura de Ingeniería en Electrónica formar profesionales, críticos, creativos, dispuestos a adquirir el espíritu universitario, interesados por resolver problemas técnicos relacionados con el diseño, ensamble, instalación, evaluación, validación y mantenimiento de sistemas electrónicos contemplando aspectos éticos, humanísticos, de inclusión, en armonía con el medio ambiente para contribuir al progreso, económico y cultural del país y satisfacer las necesidades de la sociedad.

Generales

- Ejercer el diálogo y el respeto como principios de la convivencia con sus semejantes, y de apertura al mundo.
- Reconocer la diversidad cultural y disfrutar de sus bienes y valores.
- Adquirir los valores de cooperación y solidaridad.
- Participar activamente en su desarrollo académico para acrecentar su capacidad de aprendizaje y evolucionar como profesional con autonomía.
- Asumir los principios y valores universitarios, y actuar en consecuencia.
- Aprender los modelos, teorías y ciencias que explican el objeto de estudio de su formación.
- Emplear habilidades lingüístico-comunicativas en una segunda lengua.
- Tomar decisiones y formular soluciones racionales, éticas y estéticas.
- Comprender y aplicar los principios subyacentes a los métodos, técnicas e instrumentos empleados en la intervención profesional.
- Emplear las habilidades técnicas y tecnológicas para evolucionar en el campo laboral.
- Desarrollar un juicio profesional basado en la responsabilidad, objetividad, credibilidad y la justicia.

Particulares

- Ensamblar sistemas electrónicos analógicos y digitales evaluando el tipo, costo, propósito y características de montaje de componentes utilizando los fundamentos de la teoría de los semiconductores, electrónica y teoría electromagnética para contribuir en diversos ámbitos de la sociedad tales como la salud, la educación, la industria y los servicios.



- Instalar sistemas electrónicos analógicos y digitales ponderando los requerimientos técnicos, de espacio, normativos, de prueba y de seguridad empleando el conocimiento de los estándares nacionales e internacionales para solucionar problemas técnicos en el área de automatización, telecomunicaciones, energía sustentable, sistemas de transporte, bioelectrónica y electrónica entre otras dentro de las organizaciones.
- Evaluar sistemas electrónicos analógicos y digitales caracterizando su funcionamiento a partir de sus parámetros de operación y uso para establecer su óptimo desempeño en su vida útil.
- Organizar inspecciones sobre los sistemas electrónicos analógicos y digitales utilizando técnicas analíticas tales como indicadores estadísticos de fiabilidad y disponibilidad para pronosticar fallas y extender la vida útil de los equipos.

Objetivos del núcleo de formación:

Desarrollará en el alumno el dominio teórico, metodológico y axiológico del campo de conocimiento donde se inserta la profesión.

Comprenderá unidades de aprendizaje sobre los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para dominar los procesos, métodos y técnicas de trabajo; los principios disciplinares y metodológicos subyacentes; y la elaboración o preparación del trabajo que permita la presentación de la evaluación profesional.

Objetivos del área curricular o disciplinaria:

Formular idealizaciones particularizando las condiciones de operación de sistema a través de expresiones y simplificaciones de los modelos matemáticos que caracterizan sistemas propios de la electrónica para desarrollar métodos de solución a problemas de instrumentación, suministro de energía, preamplificadores de pequeña señal, máquinas de estado, generadores de señal y de fuerza motriz.

V. Objetivos de la unidad de aprendizaje.

Analizar sistemas dinámicos a través de modelos matemáticos expresados como variables de estado continuas y discretas para proponer sistemas de control que cumplan con los parámetros de rendimientos deseados.



VI. Contenidos de la unidad de aprendizaje, y su organización.

Unidad temática 1. Análisis y estabilidad de sistemas de control en función de la frecuencia

Objetivo: Evaluar sistemas de control en términos de la frecuencia, aplicando los métodos correspondientes analítico-gráficos de Bode y de Nyquist, a fin de obtener conclusiones respecto al grado de eficiencia del sistema.

Temas:

- 1.1 Función de respuesta a la frecuencia
- 1.2 Respuesta en frecuencia con el método de Bode
- 1.3 Respuesta en frecuencia con el método de Nyquist
- 1.4 Criterio de estabilidad de Nyquist
- 1.5 Márgenes de ganancia y de fase
- 1.6 Criterio de estabilidad de Bode

Unidad temática 2. Compensadores y parámetros de rendimiento en la frecuencia

Objetivo: Sintetizar compensadores en lazo cerrado, usando técnicas basadas en el dominio de la frecuencia, con el fin de mejorar los parámetros de rendimiento de un sistema en particular.

Temas:

- 2.1 Parámetros de rendimiento en función de la frecuencia
- 2.2 Diseño de un compensador de atraso
- 2.3 Diseño de un compensador de adelanto
- 2.4 Diseño de un compensador de adelanto-atraso



Unidad temática 3. Sistemas de control con variables de estado

Objetivo: Sintetizar controladores por retroalimentación de estados, usando propiedades de las representaciones de sistemas en variables de estado, para mejorar los parámetros de rendimiento de un sistema en particular.

Temas:

- 3.1 Introducción a las variables de estado
- 3.2 Construcción de la forma canónica con variables de fase de estados
- 3.3 Forma canónica a partir de variables físicas
- 3.4 Formas canónicas controlable, observable y modal de las ecuaciones de estado
- 3.5 Matriz de transferencia
- 3.6 Respuesta dinámica del sistema a partir de la forma canónica
- 3.7 Controlabilidad y observabilidad de sistemas
- 3.8 Retroalimentación de estados
- 3.9 Observadores de estado
- 3.10 Retroalimentación de estados observados

Unidad temática 4. Retroalimentación de estados en tiempo discreto

Objetivo: Sintetizar controladores por retroalimentación de estados en tiempo discreto, utilizando técnicas equivalentes al diseño en tiempo continuo, con el fin de montarlos en sistemas de embebidos que mejoren los parámetros de rendimiento de un sistema en particular

Temas:

- 4.1 Criterios de estabilidad en el dominio Z
- 4.2 Ecuaciones de estado en tiempo discreto
- 4.3 Diagramas a bloques en Z
- 4.3 Controladores por retroalimentación de estados en tiempo discreto
- 4.4 Estimador Discreto
- 4.5 Controlador Dead-Beat



VII. Acervo bibliográfico.

Básico:

Bolzern, P., Scattolini, R., Schiavoni, N., (2009), *Fundamentos de control automático*. 3a edición, Madrid: McGraw Hill.

Dorsey, J., (2005), *Sistemas de control continuos y discretos: modelado, identificación, diseño e implementación*. México: McGraw Hill.

Ogata, K., (1996), *Sistemas de control en tiempo discreto*, 2a edición, México: Prentice Hall Hispanoamericana.

Ogata, K., (2010), *Ingeniería de control moderna*, 5a edición, Madrid: Pearson Educación.

Literatura en inglés:

Chen, C.T., (2006), *Analog and digital control system design*, New York: Oxford University Press.

Dorf, R.C., Bishop, R.H., (2010), *Modern control systems*, 12th edition, New Jersey: Prentice Hall.

Fadali, S.M., Visioli, A., (2019), *Digital control engineering*, 3rd edition, Massachusetts: Academic Press.

Franklin, G.F., Powell, J.D., Emami-Naeini, A., (2006), *Feedback control of dynamic systems*, 5th edition, New Jersey: Pearson/Prentice Hall.

Kuo, B.C., Golnaraghi, M.F., (2003), *Automatic control systems*, 8th edition, New York: John Wiley and Sons.

Nise, N.S., (2011), *Control systems engineering*, 6th edition, New Jersey: John Wiley and Sons.

Complementario:

Bolton, W., (2001), *Ingeniería de control*, 2a edición, México: Alfaomega.

Navarro Viadana, R. M., (2004), *Ingeniería de control analógica y digital*, México: McGraw Hill.

Reinoso García, O., Sebastián y Zuñiga, J.M., Torres Medina, F., Aracil Santoja, R., (2004), *Control de sistemas discretos*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.

Valdivia, M., (2012), *Sistemas de control continuos y discretos*, Madrid: Paraninfo.