

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
LICENCIATURA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA



PROGRAMA DE ESTUDIOS

Control analógico y digital I

Elaboró:

Dr. Eduardo Rodríguez Ángeles

Facultad de Ingeniería

Ing. José Luis Ávila Gómez

Facultad de Ingeniería

Dr. Giorgio Mackenzie Cruz Martínez

Facultad de Ingeniería

Fecha de  
aprobación:

H. Consejo Académico

H. Consejo de Gobierno

05 de julio del 2021

07 de julio del 2021

Facultad de Ingeniería



FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN ACADÉMICA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN ACADÉMICA

07 JUL 2021

CONSEJOS ACADÉMICO Y DE GOBIERNO  
DICTAMEN: APROBADO



## Índice

	<b>Pág.</b>
<b>I. Datos de identificación.</b>	<b>3</b>
<b>II. Presentación del programa de estudios.</b>	<b>4</b>
<b>III. Ubicación de la unidad de aprendizaje en el mapa curricular.</b>	<b>6</b>
<b>IV. Objetivos de la formación profesional.</b>	<b>8</b>
<b>V. Objetivos de la unidad de aprendizaje.</b>	<b>9</b>
<b>VI. Contenidos de la unidad de aprendizaje y su organización.</b>	<b>10</b>
<b>VII. Acervo bibliográfico.</b>	<b>12</b>



**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.

La Universidad Autónoma del Estado de México se encuentra situada dentro de una de las zonas industriales más grandes de la República Mexicana, en la cual se incluye la industria alimenticia, química, de servicios y la más grande de todas, la automotriz. Estas industrias, manejan procesos automatizados de control para su producción, de aquí la importancia de preparar al futuro Ingeniero en Electrónica con las competencias necesarias desde el punto de vista analítico, así como de aplicación, para que pueda insertarse al sector productivo y tenga las habilidades, capacidades y conocimientos pertinentes y suficientes para desarrollarse en áreas de mantenimiento o diseño de procesos de control industrial.

Al referirse a los procesos industriales antes mencionados, es importante aclarar que tales procesos regularmente son sistemas que normalmente requieren controlar una o más variables físicas, además de estar compuestos por elementos mecánicos, hidráulicos, eléctricos, etc., los cuales en su conjunto deben ser controlados bajo técnicas proporcionadas por la teoría del control implementadas dentro de un circuito electrónico analógico o analógico-digital.

La presente Unidad de Aprendizaje de Control analógico y digital I toma como antecedente la UA Sistemas lineales y señales, así como la UA Modelado de sistemas dinámicos aplicados, por lo cual en su primera unidad temática se inicia directamente con los conceptos utilizados en el área de control automático, se expone el tema de función de transferencia de manera formal y con amplia profundidad, debido a que es parte fundamental para el análisis y diseño de sistemas de control. Finalmente, se desarrollan temas complementarios para la representación, análisis y manejo de sistemas de control como lo son los diagramas de bloques y los diagramas de flujo de señal.

La segunda unidad temática tiene que ver con la base analítica y de aplicación del análisis de respuesta transitoria de sistemas dinámicos. Se proporcionan las definiciones correspondientes a los parámetros de calidad de un sistema con base a los estándares, se realizan los desarrollos analíticos para determinar la respuesta en el tiempo para sistemas de primer y segundo orden con respecto a las entradas de prueba normalizadas. Se proporciona un análisis del error en estado estacionario para sistemas de lazo cerrado basado en su entrada y salida. Finalmente, se presenta el tema de identificación de sistemas y plantas físicas.

La tercera unidad temática se enfoca en la depuración de los sistemas con base en un diagnóstico, donde se conocen los controladores PID's, se analiza el método de Ziegler-Nichols aplicado a sistemas de presión, humedad, nivel, variadores de velocidad para motores eléctricos, etc.

En la cuarta unidad se analiza el lugar geométrico de las raíces (LGR), que es una herramienta para el análisis de estabilidad como para el diseño de sistemas de control.





La quinta unidad proporciona las bases para el análisis y diseño de sistemas de control digital o discretos, en donde inicialmente se presenta la estructura y funcionamiento de un sistema de control discreto comparado con un sistema continuo en el tiempo. Posteriormente, se plantea la discretización en el dominio del tiempo de controladores continuos o analógicos para que puedan ser implementados utilizando dispositivos discretos. Finalmente se presentan los PID's discretos que son utilizados para mejorar el comportamiento de un sistema.

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 de conocimientos para la UA consecuente Control analógico y digital II de la seriación de control, así como para otras UA relacionadas con el área de control, como con Control de procesos industriales, Control avanzado, y Robótica. Por todo lo anterior, es que esta UA se integra al plan de estudios de Ingeniería en Electrónica.

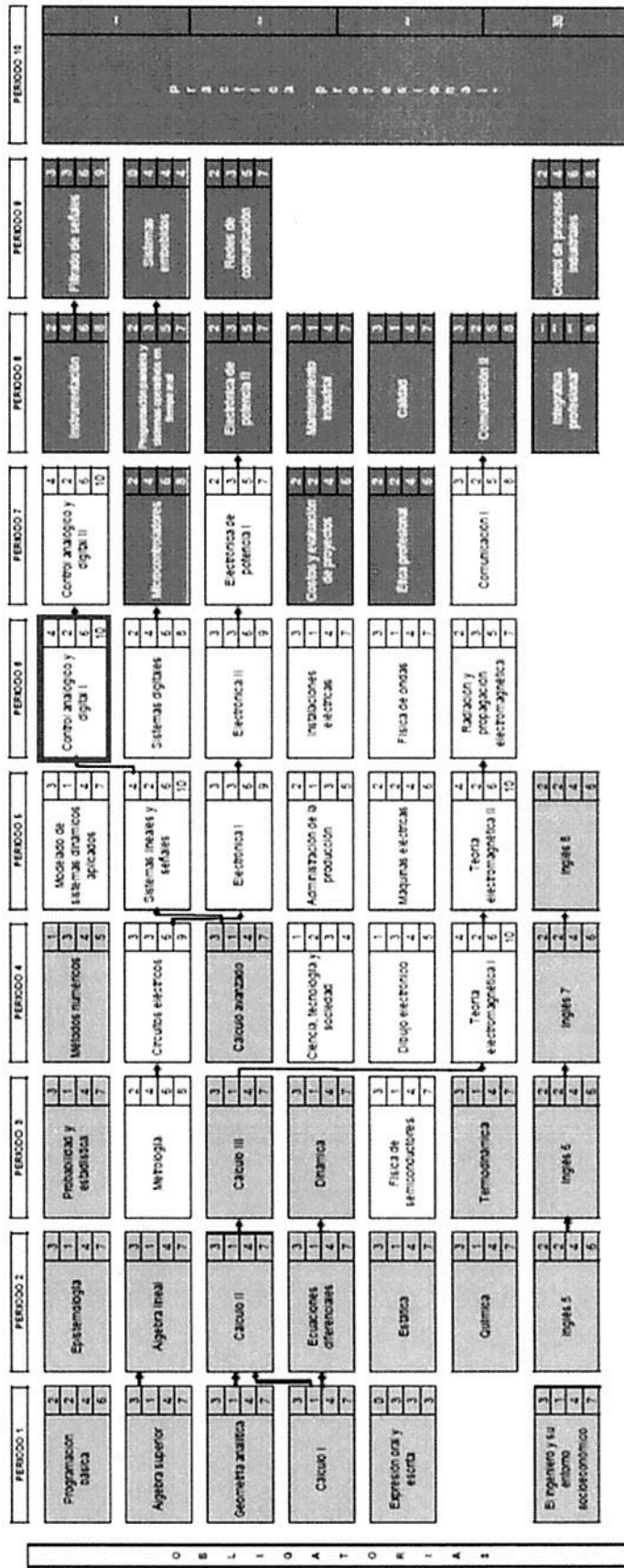
El profesor que imparta esta UA debe realizar la planeación del curso e impartir el aspecto teórico de los temas, pero también debe proporcionar problemas o ejemplos apegados a la realidad, para que el estudiante pueda observar el contexto donde los conocimientos adquiridos y sus aplicaciones reales, sobre todo en procesos industriales. Por otra parte, el profesor debe utilizar herramientas tales como software especializado (MatLab, entre otros) para reforzar los conocimientos adquiridos por los alumnos 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, se espera que el estudiante tenga la capacidad de análisis y síntesis, así como habilidad de organización y planificación, que maneje de software e instrumentos electrónicos de medición, tales como osciloscopio, multímetro, generadores de señales, fuentes de alimentación, etc.,



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

MAPA CURRICULAR DE LA LICENCIATURA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, 2019



MT 14	MT 15	MT 16	MT 17	MT 18	MT 19	MT 20	MT 21	MT 22	MT 23	MT 24	MT 25
MP 8	MP 9	MP 10	MP 11	MP 12	MP 13	MP 14	MP 15	MP 16	MP 17	MP 18	MP 19
TM 22	TM 23	TM 24	TM 25	TM 26	TM 27	TM 28	TM 29	TM 30	TM 31	TM 32	TM 33
CR 34	CR 35	CR 36	CR 37	CR 38	CR 39	CR 40	CR 41	CR 42	CR 43	CR 44	CR 45



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
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

Electrónica I	Electrónica II	Robótica	Electrónica de potencia en sistemas controlados	Electrónica de las señales de transporte	Telefonía	Control avanzado
3 3 3 3	3 3 3 3	3 3 3 3	3 3 3 3	3 3 3 3	3 3 3 3	3 3 3 3

EMBITOLÓGICA

Unidad de aprendizaje	MT	TE	TE	CR
Unidad de aprendizaje	10	10	10	10

Unidad de aprendizaje

Creditos

Creditos

Creditos

Creditos

Creditos

Creditos

Creditos

Creditos

Creditos

Creditos

Creditos

PARAMETROS DEL PLAN DE ESTUDIOS

Unidad de aprendizaje	MT	TE	TE	CR
Núcleo Básico obligatorio: cursos y actividades 22 UA	36	36	36	36
Núcleo Sustentivo obligatorio: cursos y actividades 21 UA	58	58	58	58
Núcleo Integral obligatorio: cursos y actividades 13 UA + 2	38	38	38	38

Totales de Núcleo Básico: 36 UA para cubrir 143 creditos

Totales de Núcleo Sustentivo: 58 UA para cubrir 163 creditos

Totales de Núcleo Integral: 13 UA + 2 para cubrir 166 creditos

TOTAL DEL PLAN DE ESTUDIOS	
Unidad de aprendizaje	11 + 7 actividades de soporte
Unidades	2
Unidades de aprendizaje	11 + 7 actividades de soporte
Creditos	462



#### 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 en funciones de transferencia continuas y discretas en el dominio del tiempo y la frecuencia 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. Fundamentos de sistemas de control

**Objetivo:** Construir la función de transferencia de un sistema físico a partir de sus leyes físicas, así como aplicar los conceptos básicos y los diagramas de bloques y diagramas de flujo de señal utilizados en la teoría de control para la representación y conceptualización de un sistema y para la obtención de su función de transferencia de lazo cerrado.

**Temas:**

- 1.1 Definiciones básicas de sistemas de control
- 1.2 Función de transferencia
- 1.3 Diagramas de bloques
- 1.4 Diagramas de flujo de señal

### Unidad temática 2. Análisis transitorio, análisis de error e identificación de sistemas

**Objetivo:** Analizar el comportamiento de un sistema de control, aplicando las teorías de análisis de la respuesta en función del tiempo y de análisis de error en estado estacionario, para determinar la calidad de su respuesta.

Construir la función de transferencia de un sistema físico implementado en laboratorio, aplicando las técnicas de identificación de sistemas mediante el uso de software apropiado, para ser observada y medida.

**Temas:**

- 2.1 Parámetros de rendimiento en función del tiempo
- 2.2 Análisis de respuesta transitoria para sistemas de primer orden
- 2.3 Análisis de respuesta transitoria para sistemas de segundo orden
- 2.4 Criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz y rango de estabilidad de un sistema
- 2.5 Análisis de error en estado estacionario: constantes de error estáticas
- 2.6 Identificación de sistemas e implementación de plantas físicas



### Unidad temática 3. Diseño de controladores PID

**Objetivo:** Implementar los controladores PID en un sistema de control de lazo cerrado, utilizando los métodos de sintonización de Ziegler-Nichols y circuitos electrónicos activos, para depurar su comportamiento.

**Temas:**

- 3.1 Efectos, topología y análisis de controladores de tipo PID en un sistema de lazo cerrado
- 3.2 Métodos de sintonización de PID de Ziegler-Nichols
- 3.3 Implementación de un controlador PID en lazo cerrado en un sistema físico

### Unidad temática 4. Análisis del lugar de las raíces

**Objetivo:** Analizar el comportamiento de un sistema de control, aplicando la teoría del análisis de lugar de las raíces, a fin de determinar la calidad de su respuesta, así como implementar compensadores en un sistema, aplicando técnicas de diseño basadas en lugar de las raíces, que mejoren su respuesta.

**Temas:**

- 4.1 Construcción del lugar de las raíces de un sistema
- 4.2 Análisis del lugar de las raíces de un sistema
- 4.2 Diseño de compensadores utilizando lugar de las raíces

### Unidad temática 5. Introducción al control digital

**Objetivo:** Analizar sistemas de control en tiempo discreto mediante la función de transferencia discreta y la correspondencia entre los planos  $s$  y  $z$ , así como implementar controladores analógicos discretizados y PID discretos en un sistema, apoyándose del uso de técnicas de discretización en el dominio del tiempo, a fin de mejorar su comportamiento.

**Temas:**

- 5.1 Sistemas discretos y función de transferencia discreta
- 5.2 Correspondencia entre el plano  $s$  y el plano  $z$
- 5.3 Discretización en el dominio del tiempo de controladores analógicos
- 5.4 PID discreto





## 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.

Kuo, B.C., (1997), *Sistemas de control digital*. México: CECSA.

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

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

### 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*, 12ª 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*, 5ª edición, New Jersey: Pearson/Prentice Hall.

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

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

### Complementario:

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

Hernández Gaviño, R., (2010), *Introducción a los sistemas de control: conceptos, aplicaciones y simulación con MatLab*. México: Prentice Hall.

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.

