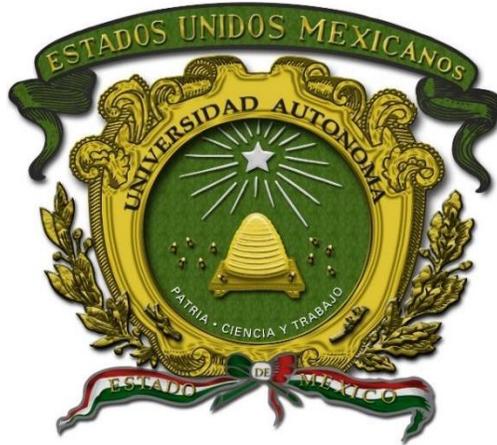


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
LICENCIATURA DE INGENIERÍA MECÁNICA



PROGRAMA DE ESTUDIOS  
CONTROL DIGITAL

<b>Elaboró:</b>	<u>Dr. Iván Osvaldo Rossano Díaz</u>	<u>Facultad de Ingeniería</u>
	<u>M. en I. Christian Castro Martínez.</u>	<u>Facultad de Ingeniería</u>
	<u>Dr. Jaime García García</u>	<u>Facultad de Ingeniería</u>
	<u>Dr. Ángel Gabriel Estévez Pedraza</u>	<u>Unidad Académica Profesional Tlanguistenco</u>
<b>Asesoría técnica:</b>	<u>Lic. Araceli Rivera Guzmán</u>	<u>Dirección de Estudios Profesionales</u>
<b>Fecha de aprobación:</b>	<u>H. Consejo Académico 12 de septiembre de 2022</u>	<u>H. Consejo de Gobierno 13 de septiembre de 2022</u>

**Facultad de Ingeniería**

DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES



Departamento de Desarrollo Curricular

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



## Índice

<b>I.</b>	<b>Datos de identificación.</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>Presentación del programa de estudios.</b>	<b>4</b>
<b>III.</b>	<b>Ubicación de la unidad de aprendizaje en el mapa curricular.</b>	<b>5</b>
<b>IV.</b>	<b>Objetivos de la formación profesional.</b>	<b>9</b>
<b>V.</b>	<b>Objetivos de la unidad de aprendizaje.</b>	<b>10</b>
<b>VI.</b>	<b>Contenidos de la unidad de aprendizaje y su organización.</b>	<b>11</b>
<b>VII.</b>	<b>Acervo bibliográfico.</b>	<b>13</b>





### I. Datos de identificación.

Espacio académico  
donde se imparte

**Facultad de Ingeniería**  
**Unidad Académica Profesional Tianguistenco**

Estudios profesionales

**Licenciatura de Ingeniería Mecánica, 2019**

Unidad de aprendizaje

**Control digital**

Clave

**LMEC80**

Carga académica

**0**

Horas  
teóricas

**4**

Horas  
prácticas

**4**

Total de  
horas

**4**

Créditos

Carácter

**Optativa**

Tipo

**Taller**

Periodo escolar

**Octavo**

Área  
curricular

**Ingeniería Aplicada y Diseño de  
Ingeniería**

Núcleo de  
formación

**Integral**

Seriación

**Ninguna**

UA Antecedente

**Ninguna**

UA Consecuente

Formación común

No presenta

**X**





## II. Presentación del programa de estudios.

La automatización y control son procedimientos fundamentales dentro de la regulación y monitoreo en diversas aplicaciones industriales, siendo las técnicas de control clásico las que permiten mantener a las variables de salida en los niveles de referencia establecidos. Debido a las necesidades específicas en la optimización de procesos, estas metodologías han tenido que actualizarse, migrando del formato analógico al digital, debido a que la infraestructura analógica usualmente presenta sobredimensionamientos, por lo que es susceptible al ruido e interferencias y además, puede ser de costos relativamente elevados en los componentes que controlan a los sistemas. En respuesta a estas limitantes, se han desarrollado plataformas digitales en las que es posible programar leyes de control complejas, capaces de producir las señales de salida adecuadas las cuales controlan eficientemente a los actuadores, siendo posible la eliminación de los componentes físicos que conformaban al controlador.

Para poder diseñar e implementar estas estrategias de control digital, es necesario que el alumno conozca previamente la teoría básica y conceptos fundamentales sobre señales y sistemas en el dominio del tiempo continuo, debido a que, en las características de la respuesta transitoria, es factible implementar las mejoras a la dinámica y respuesta del sistema, así como también, en el incremento de los márgenes de estabilidad. Por otra parte, también a partir del diseño analógico y transformaciones matemáticas, es posible estructurar estas leyes de control para sistemas digitales. Lo anterior dependerá de las condiciones generales del sistema, es decir, si previamente se tiene identificado a través de modelos físicos experimentales, o si existe un planteamiento teórico-práctico de la dinámica.

Esta unidad de aprendizaje de carácter optativo correspondiente a la línea de acentuación de eléctrica y control tiene el propósito fundamental de estructurar modelos digitales de control, y se encuentra dividida en cuatro unidades temáticas: La primera Unidad Temática (UT) comienza con la introducción de los sistemas continuos y los discretos, así como se presentan las herramientas matemáticas para el análisis del sistema discreto. La segunda UT continua con la determinación de estabilidad de los sistemas discretos mediante diferentes metodologías de análisis. La tercera unidad se diseña un controlador discreto utilizando técnicas de control clásico e implementándolas en un sistema continuo. En la cuarta unidad se diseña un controlador discreto utilizando técnicas de control moderno he implementándolas en un sistema continuo. Por lo anterior, para cursarla, será necesario que el estudiante tenga los conocimientos de asignaturas precedentes obligatorias (aunque no seriadas) como son: Electrónica, Dinámica de sistemas y Control clásico. Los tópicos que se abordan en esta UA habilitarán al alumno a hacer uso de herramientas básicas para el desarrollo de estrategias y leyes de control digital, y aprenderá a implementarlas y codificarlas en dispositivos como microcontroladores o sistemas embebidos. Dichas metodologías, con el adecuado acoplamiento de potencia, pueden producir las directrices en los sistemas típicos para regulación de velocidad en motores de corriente directa, controles de temperatura, activación/desactivación de elementos neumáticos, hidráulicos, electroneumáticos, entre otros actuadores industriales, llevándolos a niveles óptimos de operación y además, con menos probabilidades de errores y robustos ante perturbaciones externas al no tener elementos físicos como parte del sistema de control.





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

MAPA CURRICULAR DE LA LICENCIATURA DE INGENIERÍA MECÁNICA, 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	El ingeniero y su entorno socioeconómico 3 1 4 7	Epistemología 3 1 4 7	Cultura y comunicación 2 1 3 5	Métodos numéricos 1 3 4 5	Problemas socioeconómicos de México 1 2 3 4	Investigación de operaciones 3 2 5 8	Administración industrial 1 3 4 5	Administración de la producción 1 3 4 5	Ética en ingeniería 2 2 4 5		
	Álgebra superior 3 1 4 7	Álgebra lineal 3 1 4 7	Probabilidad y estadística 3 1 4 7	Mecánica del medio continuo 3 2 5 8	Ciencia de materiales II 1 3 4 5	Dinámica de sistemas 1 2 3 4	Control clásico 2 1 3 5	Automatización de procesos industriales 2 4 6 8	Informes técnicos en ingeniería 3 2 5 8		
	Geometría analítica 3 1 4 7	Cálculo II 3 1 4 7	Cálculo III 3 1 4 7	Electricidad y magnetismo 3 2 5 8	Metrología eléctrica y electrónica 1 2 3 4	Máquinas eléctricas 1 4 5 6	Instalaciones eléctricas industriales 1 3 4 5	Diseño de elementos de máquinas 2 3 5 7	Diseño de herramientas 1 3 4 5		
	Cálculo I 3 1 4 7	Ecuaciones diferenciales 3 1 4 7	Dinámica 3 1 4 7	Vibraciones mecánicas 2 1 3 5	Circuitos eléctricos 1 3 4 5	Electrónica 1 3 4 5	Ingeniería económica 1 3 4 5	Proyectos de ingeniería 1 2 3 4	Gestión empresarial 1 3 4 5		
	Mecánica de la partícula 3 2 5 8	Estática 3 1 4 7	Mecánica de materiales 3 2 5 8	Microeconomía 2 2 4 6	Termodinámica 3 2 5 8	Ingeniería térmica 2 3 5 7	Transferencia de calor 2 2 5 6	Diseño de equipo térmico 1 4 5 6	Control ambiental 1 2 3 4		
	Programación básica 2 2 4 6	Dibujo mecánico I 1 3 4 5	Química 3 1 4 7	Ciencia de materiales I 1 1 3 4	Procesos de manufactura 1 1 5 6	Desarrollo de habilidades directivas 1 2 3 4	Mecánica de fluidos 3 2 5 8	Turboquinana 1 2 4 5			
			Metrología dimensional 0 3 5 3	Dibujo mecánico II 0 5 5 5	Análisis de mecanismos 2 3 5 7	Diseño de transmisiones 1 2 3 4	Manufactura aplicada 0 4 4 4				
		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* - - - 8	Termoquímica 1 3 4 5				
	O P T A T I V A S								Optativa 1 0 4 4 4	Optativa 3 0 4 4 4	
								Optativa 2 0 4 4 4	Optativa 4 0 2 4 4		
									Optativa 5 0 4 4 4		
	HT 17 HP 8 TH 25 CR 42	HT 18 HP 10 TH 28 CR 46	HT 19 HP 12 TH 31 CR 50	HT 14 HP 19 TH 33 CR 47	HT 12 HP 21 TH 33 CR 45	HT 10 HP 18** TH 28** CR 46	HT 11 HP 21 TH 32 CR 43	HT 8 HP 27 TH 35 CR 43	HT 8 HP 24 TH 32 CR 40	HT - HP ** TH ** CR 30	





Proyecto curricular de la Licenciatura de Ingeniería Mecánica  
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	
O P T A T I V A S							A d m i n i s t r a t i v a	Calidad y normatividad 0-0 2-2 4-4 4-4			
								Contabilidad administrativa 0-0 2-2 4-4 4-4	World class manufacturing 0-0 2-2 4-4 4-4		
								Mantenimiento industrial 0-0 2-2 4-4 4-4	Proyectos industriales 0-0 2-2 4-4 4-4		
								Psicología industrial 0-0 2-2 4-4 4-4			
								Producción automatizada 0-0 2-2 4-4 4-4			
							D i s e ñ o  m e c á n i c o	Análisis de tolerancias 0-0 2-2 4-4 4-4	Dis and mold design 0-0 2-2 4-4 4-4		
								Diseño de mecanismos 0-0 2-2 4-4 4-4	Método del elemento finito 0-0 2-2 4-4 4-4		
								Diseño mecánico especializado 0-0 2-2 4-4 4-4			
								Tribología 0-0 2-2 4-4 4-4			
							I n g e n i e r í a	Diseño de experimentos 0-0 2-2 4-4 4-4	Calibración automotriz 0-0 2-2 4-4 4-4		
								Ingeniería de manufactura automotriz 0-0 2-2 4-4 4-4	Diseño de sistemas de transmisión 0-0 2-2 4-4 4-4		
						Engineering in the automotive industry 0-0 2-2 4-4 4-4					
						Sistemas automotrices 0-0 2-2 4-4 4-4					

DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES



Departamento de Desarrollo Curricular

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



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



	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6	PERIODO 7	PERIODO 8	PERIODO 9	PERIODO 10	
O P T A T I V A S							P l á s t i c o s u r y a	Materiales poliméricos	0 4 4 4	Diseño de sistemas de manufactura	0 4 4 4
								Tecnologías para el reciclado de plásticos	0 4 4 4	Computer aided manufacturing	0 4 4 4
								Tecnologías de procesamiento de plásticos	0 4 4 4	Procesos de formado de metales	0 4 4 4
								Caracterización de plásticos	0 4 4 4		
							E l é c t r i c o l y	Ahorro de energía eléctrica	0 4 4 4	Automatización avanzada	0 4 4 4
								Control de sistemas de potencia	0 4 4 4	Diseño mecatrónico	0 4 4 4
								Control digital	0 4 4 4	Instalaciones electro mecánicas	0 4 4 4
								Robots	0 4 4 4		
							T e r m o f l u i d o s	Acondicionamiento de aire	0 4 4 4	Diseño de generadores de vapor	0 4 4 4
								Ciclos de potencia avanzados	0 4 4 4	Thermal engine design	0 4 4 4
								Diagnósticos energéticos	0 4 4 4	Diseño de turbomquinas	0 4 4 4
								Máquinas de desplazamiento positivo	0 4 4 4		

DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES



Departamento de Desarrollo Curricular

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



**SIMBOLOGÍA**

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

→ 28 líneas de seriación.  
Créditos mínimos 22 y máximos 54 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 21 UA	53
	30
	83
	136

Total del núcleo básico:  
acreditar 21 UA para cubrir  
136 créditos

Núcleo sustantivo obligatorio: cursar y acreditar 27 UA	44
	66
	110
	154

Total del núcleo sustantivo  
acreditar 27 UA para  
cubrir 154 créditos

Núcleo integral obligatorio: cursar y acreditar 15 UA + 2*	20
	44**
	64**
	122

Núcleo integral optativo: cursar y acreditar 5 UA	0
	20
	20
	20

Total del núcleo integral  
acreditar 20 UA + 2\* para  
cubrir 142 créditos

TOTAL DEL PLAN DE ESTUDIOS	
UA obligatorias	63 + 2 Actividades académicas
UA optativas	5
UA a acreditar	68 + 2 Actividades académicas
Créditos	432





#### IV. Objetivos de la formación profesional.

##### Objetivos del programa educativo:

Son objetivos de los estudios profesionales de la Licenciatura de Ingeniería Mecánica formar profesionales con alto sentido de responsabilidad, críticos, creativos y con vocación de servicio para la solución de problemas relacionados con la conversión de energía en sus diversas formas con la finalidad de favorecer a la sociedad para contribuir al desarrollo social, económico, tecnológico y sustentable del país.

##### 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

- Diseñar sistemas y procesos de control, en tiempo continuo y discreto empleando conocimientos de electricidad y magnetismo, circuitos eléctricos y electrónicos, máquinas eléctricas, control clásico, dinámica de sistemas, metrología eléctrica y electrónica; y automatización de procesos industriales para la automatización de procesos y sistemas industriales que contribuyan al aumento de la calidad y cantidad de la producción.





- Diseñar sistemas térmicos convencionales y alternativos utilizando los conocimientos de la termodinámica, mecánica de fluidos, termoquímica, transferencia de calor; turbomaquinaria, diseño térmico y control ambiental para contribuir a la disminución de: costos de producción, emisiones de contaminantes al ambiente utilizando la energía de manera eficiente y sustentable.
- Crear sistemas y procesos de control, en tiempo continuo y discreto empleando conocimientos de electricidad y magnetismo, circuitos eléctricos y electrónicos, máquinas eléctricas, control clásico, dinámica de sistemas, metrología eléctrica y electrónica; y automatización de procesos industriales para automatizar procesos y sistemas industriales que contribuyan al aumento de la calidad y cantidad de la producción.
- Evaluar proyectos de producción y manufactura utilizando los principios del valor de la inversión a través del tiempo, el tiempo de retorno de inversión, microeconomía, investigación de operaciones, administración industrial y de la producción, así como gestión empresarial para seleccionar de manera óptima los recursos humanos, materiales, técnicos y económicos de la producción industrial.

### **Objetivos del núcleo de formación:**

Proveer al alumno de escenarios educativos para la integración, aplicación y desarrollo de los conocimientos, habilidades y actitudes que le permitan el desempeño de funciones, tareas y resultados ligados a las dimensiones y ámbitos de intervención profesional o campos emergentes de la misma.

### **Objetivos del área curricular o disciplinaria:**

Proponer soluciones a problemas de flujo de fluidos, intercambio de energía, fallas en máquinas y procesos, así como de control y automatización de sistemas de producción aplicando los conocimientos de control, hidráulica, neumática, diseño de: equipo térmico, de elementos de máquinas, de herramienta y de mecanismo para construir máquinas, procesos y sistemas que den respuesta a las necesidades de confort humano a través de la conversión de energía.

### **V. Objetivos de la unidad de aprendizaje.**

Diseñar técnicas digitales de control en sistemas retroalimentados mediante el uso de un microcontrolador o microprocesador para la optimización y compensación de procesos industriales.



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

### Unidad 1. Control digital

**Objetivo:** Diferenciar entre los sistemas continuos y discretos, mediante la representación de ecuaciones en diferencia de los sistemas continuos, empleando el teorema del muestreo, así como la transformada Z, con el fin de realizar una simulación del funcionamiento del circuito muestreador para diferentes valores de muestreo.

#### Temas:

- 1.1 Diferencia entre sistemas continuos y discreto.
- 1.2 Estructura de los sistemas muestreados
  - 1.2.1 Modelo matemático del muestreo y retención de datos
  - 1.2.2 Medición de señales
  - 1.2.3 Acondicionamiento de señales
  - 1.2.4 Aliasing
- 1.3 Representación matemáticas d los procesos de muestreo.
- 1.4 Transformada Z.
  - 1.4.1 Propiedades y teoremas de la transformada Z
  - 1.4.2 Transformada inversa
  - 1.4.3 Aplicación de la transformada z en la solución de ecuaciones en diferencia
  - 1.4.4 Regla de correspondencia entre el plano S y plano Z
- 1.5 Implantación mediante simulación de un circuito muestreador.
- 1.6 Obtención práctica del modelo de un sistema mediante la utilización de un microcontrolador o microprocesador.





## Unidad 2. Respuesta de sistemas discretos y análisis de estabilidad

**Objetivo:** Analizar la estabilidad de los sistemas discretos, mediante la modelación de estos sistemas, así como la obtención experimental del mismo, empleado las leyes de comportamiento que rigen dichos sistemas dinámicos, con el fin aplicar el modelo para determinar la estabilidad de este.

### Temas:

- 2.1 Modelado de sistemas discretos en lazo abierto y cerrado.
- 2.2 Representación en el espacio de estados de sistemas discretos.
- 2.3 Respuesta de sistemas discretos ante entradas impulso, escalón y rampa discretos.
- 2.4 Localización de polos y ceros en el plano Z.
- 2.5 Criterios de estabilidad (Ecuación característica, Asintótica, BIBO, Routh-Hurwitz, Jury y localización del lugar de las raíces).
- 2.6 Obtención experimental de un modelo dinámico de un sistema continuo mediante la utilización de un microcontrolador o microprocesador

## Unidad 3. Diseño de controlador digital

**Objetivo:** Diseñar la estrategia de control, mediante la aplicación de metodologías basadas en la respuesta transitoria discreta de los sistemas, con el fin de implementar un controlador y validar el comportamiento y funcionamiento de este.

### Temas:

- 3.1 Controladores discretos.
  - 3.1.1 Controlador discreto PID.
    - 3.1.1.1 Diseño Directo
    - 3.1.1.2 Diseño por Emulación
  - 3.1.2 Variantes del controlador PID discreto (P, PI, PD, PID).
    - 3.1.2.1 Diseño Directo
    - 3.1.2.2 Diseño por Emulación
- 3.2 Implementación practica de un sistema de control discreto PID a un sistema continuo.



#### **Unidad 4.** Teoría de control Moderno Discreto.

**Objetivo:** Diseñar la estrategia de control, mediante la aplicación de metodologías basadas en variables de estado discreto de los sistemas, con el fin de implementar un controlador y validar el comportamiento y funcionamiento de este.

#### **Temas:**

- 4.1 Representación en variables de estado.
- 4.2 Procedimiento de diseño de espacio de estado.
- 4.3 Controlabilidad discreta
- 4.4 Ubicación de polos en el espacio de estado
- 4.5 Observabilidad discreta
- 4.6 Observabilidad de estado
- 4.7 Implementar un controlador mediante el criterio de variables de estado

### **VII. Acervo bibliográfico.**

#### **Básico:**

Fadali, M. S., & Visioli, A., (2013), *Digital Control Engineering: Analysis and Design*, Academic Press.

Isermann, R., (2013), *Digital Control Systems*, Springer Science & Business Media.

Landau, I. D., & Zito, G., (2007), *Digital Control Systems: Design, Identification and Implementation*, Springer Science & Business Media.

Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W., (2011), *Tratamiento de señales en tiempo discreto*, Pearson Educación.

Unsalan, C., Barkana, D. E., & Gurhan, H. D., (2021), *Embedded Digital Control with Microcontrollers: Implementation with C and Python*, John Wiley & Sons.

#### **Complementario:**

Al-hadithi, B. M., (2007), *Sistemas discretos de control*, Vision Libros.

Barrios, L. C., & Álvarez, J. J. P., (2020), *Filtros para relés digitales de protección de sistemas eléctricos*, Cuba: Editorial Universitaria.

Margolis, M., Jepson, B., & Weldin, N. R., (2020), *Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects*, O'Reilly Media, Inc.

Oliveira, C. L. V., & Zanetti, H. A. P., (2021), *MicroPython—Aprenda a programar microcontroladores*, Saraiva Educação S.A.

