



PLAN DE ESTUDIOS (PE): Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización

ÁREA: Robótica y Control

ASIGNATURA: Control Lineal y Servomecanismos

CÓDIGO: MCEA-20100

CRÉDITOS: 7

FECHA: 18 de septiembre de 2019



1. DATOS GENERALES

Nivel Educativo	Maestría
Nombre del Plan de Estudios	Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización
Modalidad Académica	Presencial
Nombre de la Asignatura	Control Lineal y Servomecanismos
Ubicación	Facultad de Ciencias de la Electrónica, Edificio FCE6, primer piso. 18 sur y Av. San Claudio, Col. Jardines de San Manuel, Ciudad Universitaria. Puebla, Puebla 72570.
Correlación:	
Asignaturas Precedentes	Ninguna
Asignaturas Consecuentes:	Control de Robots Manipuladores y Control No Lineal
Conocimientos, habilidades, actitudes, y valores previos:	Conocimientos: - Modelado de sistemas dinámicos; control de servomecanismos; teoría de estabilidad de Lyapunov; programación en MATLAB, C y C++, tarjetas digitales embebidas. Habilidades: - Diseño y desarrollo de sólidos en AutoCad y SolidWork. Actitudes: - Trabajar en equipo, adaptarse al grupo de alumnos e investigadores del posgrado, autodidacta y tener iniciativa. Valores: - Ser respetuoso, disciplinario y tolerante; actuar con ética y profesionalismo.



2. CARGA HORARIA DEL ESTUDIANTE

Concepto	Horas de Periodo		Total de horas por periodo	Créditos
	Teoría	Práctica		
Horas: teoría y práctica	50	40	90	7
Total	50	40	90	7
16 horas corresponde a un crédito.				



3. REVISIONES Y ACTUALIZACIONES

Autores	Dr. José Fernando Reyes Cortés
Fecha de diseño	9 de marzo de 2018
Fecha de la última actualización:	18 de septiembre de 2019
Fecha de aprobación por parte del Comité Académico:	18 de septiembre de 2019
Fecha de aprobación por parte de la Academia del Programa:	18 de septiembre de 2019
Fecha de aprobación por parte del Secretario Académico:	
Fecha de aprobación por parte del CUA:	
Revisores:	Dra. María Aurora Diozcora Vargas Treviño, Dra. Amparo Dora Palomino Merino, Dra. Olga Guadalupe Félix Beltrán, Dr. José Eligio Moisés Gutiérrez Arias, Dr. Carlos Leopoldo Pando Lambruschini.
Sinopsis de la revisión y/o actualización	Se actualizó el contenido de la materia de Control de Robots Manipuladores incorporando aspectos prácticos en el contenido temático como a continuación se describe: Capítulo 1 Cinemática y Capítulo 2 Dinámica no se modifican. Capítulo 3 Identificación paramétrica: se realizan la regresión lineal del péndulo y robot de 2 gdl; se evalúan experimentalmente 5 esquemas de regresión como son el modelo dinámico, dinámico filtrado, energía, potencia y potencia filtrada. Capítulo 4 de Control de Posición: evaluación experimental con nuevos esquemas de control diseñados en clase y comparación de desempeño con el control tradicional PD. Capítulo 5 Control de Trayectoria: evaluación experimental de nuevas estrategias de control de movimiento y su comparación de índice de desempeño con los esquemas tradicionales PD+ y Par Calculado. Capítulo 6 Control Cartesiano: no se modifica. Capítulo 7 Robótica Industrial: se aumentan el número de prácticas. Se actualizó bibliografía.



PERFIL DESEABLE DEL PROFESOR PARA IMPARTIR LA ASIGNATURA

Disciplina Profesional	Robótica y Control
Nivel Académico	Doctor en Ciencias
Experiencia Docente	20 años
Experiencia profesional	35 años



4. OBJETIVOS

Control Lineal y Servomecanismos es un curso formativo que corresponde al bloque básico, se ubica en el primer semestre del Plan de Estudios de la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización.

Los objetivos fundamentales del presente curso se encuentran en cubrir contextos científicos y tecnológicos; pretende proporcionar las bases teorías fundamentales, para el análisis y diseño de sistemas lineales dinámicos bajo el enfoque de variables de estado y su potencial aplicación en servomecanismos. La naturaleza del curso es teórica-práctica, incluye: simulación y experimentos; resaltando las aplicaciones donde se valida los conceptos teóricos en control de servomecanismos en tiempo real.

4.1 Objetivo General

Que el estudiante adquiriera una formación científica sólida en la teoría de sistemas lineales dinámicos bajo el enfoque de variables de estado, de tal forma que le permita diseñar y aplicar los conceptos y bases tecnológicas en control de servomecanismos.

Para cubrir el objetivo general, se han contemplado los siguientes objetivos particulares:

4.2 Objetivos particulares

- Presentar las herramientas de control clásico para el análisis de sistemas lineales en el dominio de la frecuencia.
- Entender la teoría fundamental de sistemas dinámicos lineales, bajo el enfoque de variables de estado (físicas, fase y canónicas) aplicado al análisis de sistemas y diseño de estrategias de control (en tiempo continuo y discreto).
- Conocer la tecnología que se utiliza en servomecanismos: clasificación de actuadores, sistemas de engranes, motores de corriente directa, transmisión directa, y tipos de encoders.
- Presentar y desarrollar los conceptos de la mecánica analítica para deducir el modelo dinámico que incluye los fenómenos físicos de sistemas mecatrónicos. Deducir sus propiedades matemáticas para diseñar esquemas de control.
- Diseñar algoritmos de control mediante la técnica de moldeo de energía y su aplicación en servomecanismos.



5. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ASIGNATURA

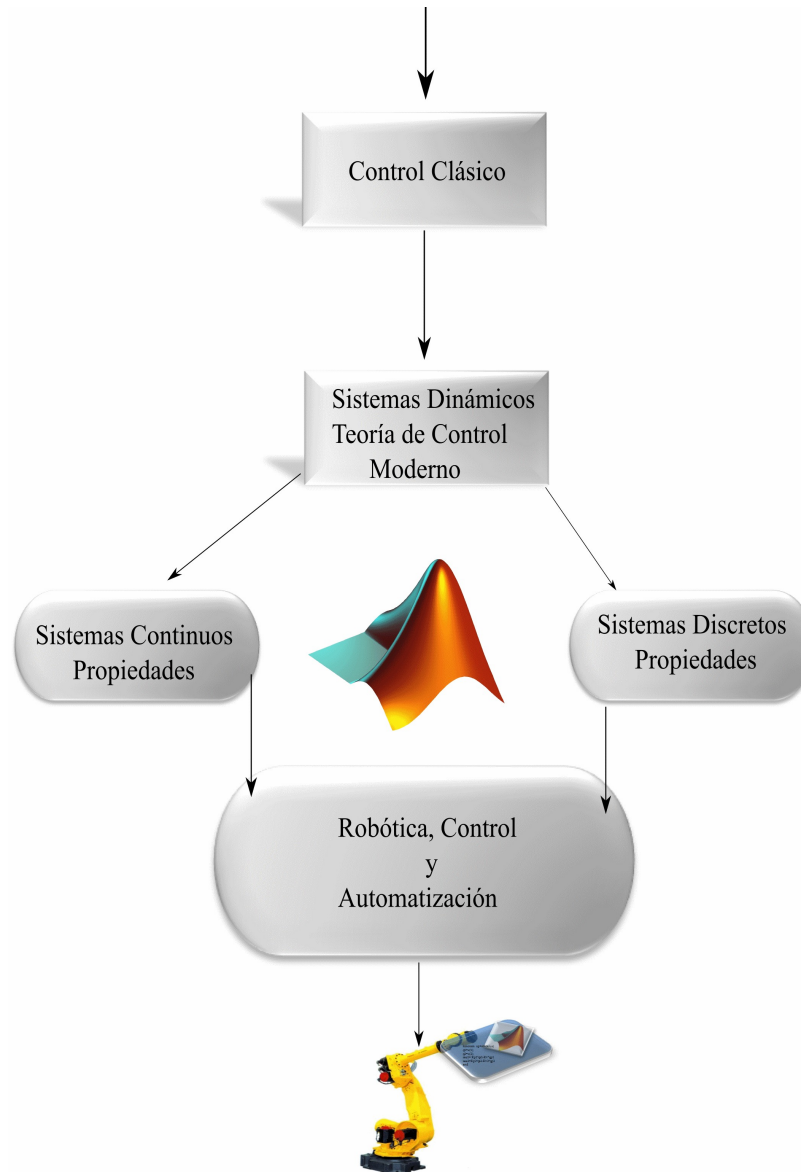


Figura 1: Representación gráfica de la asignatura de Control Lineal y Servomecanismos



6. CONTENIDO

Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
1. Introducción a Sistemas Lineales	Presentar las herramientas básicas de control clásico para el análisis de sistemas lineales en el dominio de la frecuencia	1.1 Propiedades de los sistemas lineales 1.1.1 Definición de un sistema lineal 1.1.2 Propiedades de los sistemas lineales	Reyes, Cid y Vargas (2014)	Phillips and Harbor (2000) T. S. Shores, Applied Linear Algebra and Matrix Analysis, 2 nd edition. Springer, 2018. K. J. Astrom, R. M. Murray, Feedback Systems, Princeton University Press, 2012
		1.2 Transformada de Laplace 1.2.1 Transformada de Laplace como herramienta de análisis 1.2.2 Propiedades de la transformada de Laplace 1.2.3 Revisión de las tablas de la transformada de Laplace 1.2.4 Transformada de Laplace en Matlab 1.2.5 Desarrollo de fracciones parciales 1.2.6 Convolución (aspectos prácticos con Arduino) 1.1.6 Aplicaciones de la transformada de Laplace	Reyes, Cid y Vargas (2014)	Charles, Mel-sa y Schultz (1994), Reyes (2013)
		1.3 Control Clásico 1.3.1 Control clásico en Matlab 1.3.2 Funciones de transferencia 1.3.3 Diagramas a bloques 1.3.4 Análisis de polos y ceros 1.3.5 Gráficas de Bode 1.3.6 Gráficas de Nyquist	Reyes, Cid y Vargas (2014)	Charles, Melsa y Schultz (1994), Phillips and Harbor (2000)



Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
2. Sistemas Lineales Continuos de Primer Orden	Que el alumno asimile la teoría fundamental de sistemas dinámicos lineales, bajo el enfoque de variables de estado (físicas, fase y canónicas): análisis de sistemas y diseño de estrategias de control.	2.1 Variables de estado 2.1.1 Propiedades fundamentales 2.1.2 Variables físicas 2.1.3 Variables fase 2.1.4 Variables canónicas	Reyes, Cid y Vargas (2014)	Phillips and Harbor (2000)
		2.2 Sistemas dinámicos lineales continuos: $\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}u(t)$ $y(t) = \mathbf{C}^T \mathbf{x}(t)$ 2.2.1 Caso de estudio escalar: solución de la ecuación diferencial 2.2.2 Relación con funciones de transferencia 2.2.3 Caso de estudio vectorial: solución de la ecuación diferencial 2.2.4 Matriz resolvente y funciones de transferencia 2.2.5 Matriz $e^{\mathbf{A}t}$ (teorema de Cayley-Hamilton) 2.2.6 Simulación MATLAB y Arduino 2.3 Sistemas dinámicos discretos: $y_k = \mathbf{C}^T \mathbf{x}_k$ 2.3.1 Muestreo y formas discretas (retenedor orden cero) 2.3.2 Conversión del sistema continuos a sistema discreto: matriz $e^{\mathbf{A}h}$ y vector Γ 2.3.3 Propiedades y análisis de sistemas discretos	Reyes, Cid y Vargas (2014)	Charles, Mel-sa y Schultz (1994), Reyes (2013), Aström and Wittenmark (1997) T. S. Shores, Applied Linear Algebra and Matrix Analysis, 2 nd edition. Springer, 2018. K. J. Astrom, R. M. Murray



Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
3. Análisis de Sistemas Lineales	Analizar y diseñar sistemas lineales con aplicados en servomecanismos.	3.1 Observabilidad 3.1.1 forma canónica observable 3.2 Controlabilidad 3.2.1 forma canónica controlable 3.3 Formas canónicas de variables de estado 3.4 Estabilidad 3.4.1 Estabilidad del Círculo 3.4.2 Estabilidad exponencial 3.4.3 Estabilidad en el sentido de Lyapunov 3.4.4 Estabilidad L_2 3.5 Filtrado y estimadores 3.5.1 Filtros continuos y discretos 3.5.2 Filtros pasabajas (señales con ruido) 3.5.3 Estimadores de velocidad 3.5.4 Estimadores para derivadas 3.5.5 Aplicaciones prácticas MATLAB y Arduino	Reyes, Cid y Vargas (2014)	Charles, Mel-sa y Schultz (1994), Reyes y Cid (2015), Franklin, Powell and Wor-man (1998)



Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
4. Servomecanismos	Presentar los principios y fundamentos de la tecnología de servomecanismos.	4.1 Introducción a los servomecanismos 4.2 Principios fundamentales de los motores DC 4.3 Actuadores 4.4 Servomotores 4.4.1 Servoamplificador 4.4.2 Formas de configuración 4.4.3 Fundamentos de funcionamiento 4.4.4 Servomotores con sistemas de engranes 4.4.5 Servomotores de transmisión directa 4.5 Sensores de posición 4.5.1 Encoders incrementales 4.5.2 Encoders absolutos 4.5.3 Encoders magnéticos 4.5.4 Encoders: aspectos prácticos con Arduino 4.6 Aspectos prácticos con servomotores	Reyes, Cid y Vargas (2014)	Charles, Melsa y Schultz (1994), Reyes (2013) T. S. Shores, Applied Linear Algebra and Matrix Analysis, 2 nd edition. Springer, 2018. K. J. Astrom, R. M. Murray, Feedback Systems, Princeton University Press, 2012



Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
5. Modelado de Servomecanismos	Presentar las técnicas de modelado de servomecanismos usando la Mecánica Analítica.	5.1 Introducción a la Mecánica Analítica 5.2 Ecuaciones de movimiento de Euler-Lagrange 5.2.1 Propiedades de las ecuaciones de Euler-Lagrange 5.2.2 Modelo de energía 5.2.3 Modelo de potencia 5.3 Modelos de fricción 5.3.1 Fricción viscosa 5.3.2 Fricción de Coulomb 5.3.3 Modelos dinámicos de fricción 5.4 Modelo dinámico de servomecanismos 5.4.1 Motor DC 5.4.2 Sistema masa-resorte- amortiguador 5.4.3 Centrifuga 5.4.4 Péndulo 5.4.5 Robot cartesiano lineal 5.5 Simulaciones con MATLAB	Reyes, Cid y Vargas (2014)	Charles, Mel-sa y Schultz (1994), Reyes (2013) T. S. Shores, Applied Linear Algebra and Matrix Analysis, 2 nd edition. Springer, 2018. K. J. Astrom, R. M. Murray, Feedback Systems, Princeton University Press, 2012



Unidad	Objetivo específico	Contenido Temático/Actividades de aprendizaje	Bibliografía	
			Básica	Complementaria
6. Control de Servomecanismos	Presentar las técnicas de diseño de algoritmos de control para sistemas lineales aplicados a servomecanismos.	6.1 Introducción a las técnicas de control lineal		
		6.2 Control Proporcional-Derivativo (PD)		
		6.3 Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID)		
		6.4 Aspectos prácticos (Arduino) de control PD y PID		
		6.5 Algoritmos autozintonizables		Charles, Mel-sa y Schultz (1994),
		6.5.1 Método de Ziegler-Nichols (escalón)	Reyes, Cid y Vargas (2014)	Reyes (2013),
		6.5.2 Método de Ziegler-Nichols (frecuencia)		Reyes y Cid (2015) T. S. Shores, Applied Linear Algebra and Matrix Analysis, 2 nd edition. Springer, 2018.
		6.5.2 Método del relevador		K. J. Astro m, R. M. Murra y, Feed back
		6.5.3 Autosintonía por dinámica auxiliar		
		6.5 Aspectos prácticos (Arduino) de algoritmos autosintonizables		
		6.6 Control lineal cuadrático (LQR)		
		6.6.1 Aspectos prácticos (Arduino) de LQR		



7. CONTRIBUCIÓN DEL PROGRAMA DE ASIGNATURA AL PERFIL DEL EGRESO

Asignatura	Perfil de egreso		
	Conocimientos	Habilidades	Actitudes y valores
Control Lineal y Servomecanismos	Dominio de la teoría de sistemas dinámicos lineales Análisis de sistemas en variables de estado en el dominio de tiempo continuo y discreto Diseño de observadores y predictores de velocidad Diseño de nuevas estrategias de control para servomecanismos Control de servomecanismos Mejora de aspectos prácticos de control de procesos	Capacidad para mejorar o perfeccionar la solución de problemas del ámbito de la automatización Potencial para resolver y mejorar problemas teóricos y prácticos Armonía para trabajar en equipo Toma de decisiones asertivas en el planteamiento, solución y ejecución de procesos con servomecanismos	■ Comportamiento humanista ■ Persona ética ■ Respeto y compromiso ■ Cuidado del entorno ambiental ■ Responsable ■ Disciplinario ■ Autodidacta ■ Iniciativa ■ Formalidad ■ Dominio del lenguaje técnico del área de automatización (magnífica redacción del idioma castellano)



8. DESCRIBA COMO LOS EJES TRANSVERSALES CONTRIBUYAN AL DESARROLLO DE LA ASIGNATURA

Ejes transversales	Contribución con la asignatura
Formación humana y social	Compromiso y responsabilidad con los diferentes sectores de la sociedad a incrementar no sólo la calidad de vida, también a proponer propuestas para mejorar nuestro entorno.
Desarrollo de habilidades en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación	Detectar y plantear problemas del entorno social y ambiental, y su potencial solución a través de los conocimientos que adquiere con el uso de la tecnología y teoría de la automatización.
Desarrollo de habilidades del pensamiento complejo	Con el uso de las ciencias exactas (física y matemáticas) mejora el planteamiento y solución de problemáticas con impacto directo a diferentes sectores de la sociedad.
Lengua extranjera	Manejo adecuado de una segunda lengua para comunicarse y escribir documentos científicos, generalmente inglés.
Innovación y talento universitario	Uso y aplicación del conocimiento del área de automatización para mejorar o adecuar tecnología en bien de la sociedad.
Educación para la investigación	Generar prototipos científicos-didácticos que coadyuven a la enseñanza y transmisión del conocimiento en el área de la automatización.

9. ORIENTACIÓN DIDÁCTICA-PEDAGÓGICA

Estrategias y técnicas de aprendizaje-enseñanza	Recursos didácticos
Estrategia de aprendizaje	Diapositivas de cada sesión de clase, simuladores, videos de experimentos.
Estrategia de enseñanza	Actividades de aprendizaje: análisis de artículos científicos, presentación de trabajos en clase.
Ambientes de aprendizaje	Laboratorio experimental de robótica y control, desarrollo de prácticas, diseño de prototipos didácticos.



Actividades y experiencias de aprendizaje	Presentación de trabajos en foros y simposiums del área de automatización, convivencia con diversos investigadores en el ciclo de seminarios del posgrado.
---	--

10. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Criterios	Porcentaje
Exámenes	40 %
Actividades académicas: tareas, reportes técnicos sobre prácticas de laboratorio y simulación, ejercicios con demostraciones analíticas.	60 %
	Total: 100 %

11. REQUISITOS DE ACREDITACIÓN

De acuerdo al reglamento de procedimientos de requisitos para la admisión, permanencia y egresos de alumnos de la BUAP, en la asignatura de Control Lineal y Servomecanismos de la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización:

Estar inscrito como alumno regular en la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización, adscrita a la Facultad de Ciencias de la Electrónica
Tener asistencia a la asignatura como mínimo del 80 % de las sesiones
La calificación mínima aprobatoria en posgrado es de 7 (siete)
Cumplir con las actividades académicas y cargas de estudio asignadas que señale la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización

12. ACTA DE ACUERDOS

Se anexa copia del acta de la Academia de la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización, así como de la CDESCUA con el Vo. Bo. del Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado.

Bibliografía

Charles E. Rohrs, James M. Melsa, y Donald G. Schultz. *“Sistemas de Control*. McGraw-Hill, 1994.

Karl J. Åström and Björn Wittenmark. *“Computer-Controlled Systems: Theory and Design”*, Third Edition, Prentice-Hall. 1997.

Gene F. Franklin, J. David Powell and Michael Worman. *“Digital Control of Dynamic Systems”*, Third Edition, Addison-Wesley. 1998.

Charles L. Phillips and Royce D. Harbor. *“Feedback Control Systems”*, Fourth Edition, Prentice-Hall. 2000.

Fernando Reyes. *“MATLAB: Aplicado a Robótica y Mecatrónica”*. Grupo Editor Alfaomega, 2013.

Fernando Reyes, Jaimde Cid y Emilio Vargas. *“Mecatrónica: Control y Automatización”*. Grupo Editor Alfaomega, 2014.

Fernando Reyes y Jaime Cid. *“Arduino: Aplicaciones en Robótica, Mecatrónica e Ingenierías”*. Editorial Alfaomega, 2015.

T. S. Shores, Applied Linear Algebra and Matrix Analysis, 2nd edition. Springer, 2018.

K. J. Astrom, R. M. Murray, Feedback Systems, Princeton University Press, 2012

Paquetes de cómputo empelados en el curso:

MATLAB(2019b), <http://www.mathworks.com/>

Arduino (2017), <http://www.arduino.cc/>

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA,
OPCIÓN EN AUTOMATIZACIÓN
MINUTA DE REUNIÓN
COMITÉ ACADÉMICO
REUNIÓN EXTRAORDINARIA**

Folio: CS-72a

Siendo las **11:30** horas del día **18 DE SEPTIEMBRE DE 2019** nos hacemos presentes:

Dra. María Aurora Diozcora Vargas Treviño, Profesora Investigadora
Dr. José Eligio Moisés Gutiérrez Arias, Profesor Investigador
Dra. Amparo Dora Palomino Merino, Profesora Investigadora
Dr. Carlos Leopoldo Pando Lambruschini, Profesor Investigador
Dr. Gerardo Mino Aguilar, Secretario de Investigación
Dra. Olga Guadalupe Félix Beltrán, Coordinador Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización (MCEA)

en la Sala de Juntas de Posgrado, 1FCE6/201, Puebla, Pue., con el siguiente orden del día:

1. Pase de lista.
2. Programas de materia de las asignaturas optativas de la MCEA.
3. Asuntos generales.

Relatoría de la Reunión:

1) PASE DE LISTA. Asistieron los miembros del Comité Académico Dra. María Aurora Diozcora Vargas Treviño, Profesora Investigadora, Dr. José Eligio Moisés Gutiérrez Arias, Profesor Investigador, Dra. Amparo Dora Palomino Merino, Profesora Investigadora, Dr. Carlos Leopoldo Pando Lambruschini, Profesor Investigador, Dra. Olga Guadalupe Félix Beltrán, Coordinadora Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización.

1. PROGRAMAS DE MATERIA DE LAS ASIGNATURAS OPTATIVAS DE LA MCEA. La Coordinadora MCEA solicita a los miembros del Comité Académico (CA) ratificar la evaluación de los programas de materia de las asignaturas del Plan de Estudios del programa de maestría, los cuales han sido sometidos a revisión, en cuanto a formato, actualización de bibliografía y, en algunos casos, modificación parcial del contenido para su actualización. La Academia del programa de maestría en Reunión Ordinaria con minuta No. de Folio ACADMCEA/1809/2019 ha aprobado la actualización de los mismos.

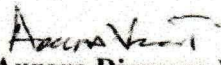
Carlos Pando

El Comité Académico aprueba la actualización de los programas de materia optativas y obligatorias presentados a la fecha.

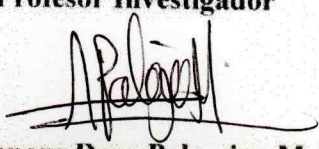
APROBADO: 5 (DIEZ) VOTOS A FAVOR, 0 (CERO) EN CONTRA Y 0 (CERO) ABSTENCIONES.

2) **ASUNTOS GENERALES:** En esta reunión no se trataron asuntos generales.

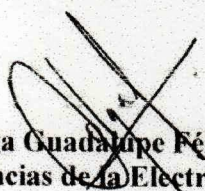
Siendo las 112:00:00 Hrs. nos retiramos y para constancia de estos hechos firmamos la presente.


Dra. María Aurora Diozcora Vargas Treviño
Profesora Investigadora


Dr. José Eligio Moisés Gutiérrez Arias
Profesor Investigador


Dra. Amparo Dora Palomino Merino
Profesora Investigadora


Dr. Carlos Leopoldo Pando Lambruschini
Profesor Investigador


Dra. Olga Guadalupe Félix Beltrán
Coordinadora Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción en Automatización