



1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Sistemas MEMs y NEMs
Clave de la asignatura:	SEF-2324
SATCA¹:	3-2-5
Carrera:	Ingeniería en Semiconductores

2. Presentación

Caracterización de la asignatura
<p>La asignatura de sistemas microelectromecánicos (MEMs) y nanoelectromecánicos (NEMs) incluye temas sobre componentes de tamaños menores que un milímetro. Los MEMs se relacionan con la mayoría de las funciones de ingeniería utilizando medios electromecánicos y electroquímicos. En general, un sensor, un actuador y una unidad de transducción de señales forman el dispositivo MEM. Estos dispositivos se aplican ampliamente en las áreas automotriz, aeroespacial y en la salud como biosensores.</p> <p>Esta asignatura aporta al perfil del egresado las herramientas necesarias para conocer los sistemas electrónicos en micro y nano escala aplicando los conocimientos de las matemáticas y fundamentos de ingeniería de los semiconductores.</p> <p>En la asignatura se tiene como objetivo el modelado de varios componentes RF MEMs y BioMEMs.</p> <p>También se proporcionan tratamientos integrales con integración sinérgica de un amplio espectro de disciplinas en ciencia e ingeniería para atender la naturaleza multidisciplinaria de los sistemas NEMs.</p> <p>El profesor debe coordinar, asesorar y dar seguimiento en cada una de las actividades encomendadas al estudiante, para lograr los objetivos de aprendizaje</p>
Intención didáctica
<p>Sistemas microelectromecánicos y nanoelectromecánicos es una materia que se integra en el plan de estudios de la Ingeniería en Semiconductores con el propósito de promover en el estudiante capacidades de comprensión y diseño de hardware referente a los MEMs y NEMs así como a sus áreas de aplicación.</p>

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



Al crear, innovar y transferir tecnología aplicando métodos y procedimientos en proyectos de ingeniería electrónica, se considera el desarrollo sustentable del entorno y la aplicación de las nuevas tecnologías de la Información y de las comunicaciones, para la adquisición y el procesamiento de datos, así como para simular modelos que permitan predecir el comportamiento de dichos dispositivos.

Esta asignatura contribuye a que el alumno adquiera una perspectiva moderna para comprender y usar las tecnologías para diseñar MEMs y NEMS, permitiéndole un campo para desarrollarse y aplicar los conocimientos adquiridos.

La asignatura consta de 5 temas, el primero lleva al alumno a conocer las nuevas tendencias en ciencia e ingeniería respecto a los sistemas a micro y nano escala, definiendo los conceptos de MEMs y NEMS, su estructura física, los materiales utilizados en su fabricación y las, herramientas requeridas para su diseño, que le permitan proponer diseños sencillos de estos dispositivos.

El tema 2 se enfoca en el análisis y diseño de diferentes tipos de transductores y sensores con aplicaciones diversas, y el tema 3 aborda los procesos de fabricación de éstos. Con estos temas, el estudiante adquiere los saberes y habilidades necesarias para conocer, comprender y analizar cómo se diseñan y fabrican estos elementos, permitiéndole aplicarlos en la solución de problemas reales, en diferentes áreas del quehacer humano, como la industria automotriz, aeronáutica y la medicina, por nombrar solo algunas.

El tema 4 habla sobre los MEMs de RF, aborda la importancia de los componentes RF MEMs en comunicaciones, aplicaciones espaciales y de defensa. El estudiante conoce, analiza y utiliza transductores MEMS RF de diferentes tipos y sus aplicaciones relacionadas principales, diseñando sistemas que den solución a problemáticas específicas.

Por último, el tema 5 permite al estudiante conocer las nanoestructuras que involucran sistemas eléctricos y mecánicos a nivel nanométrico NEMS. Estos dispositivos integran nanoelectrónica, similar a los transistores con actuadores mecánicos, con el fin de formar sensores físicos, biológicos y químicos.

Se sugiere que el profesorado guíe al grupo en las investigaciones relativas a los MEMs, proponga el sentido de las posibles aplicaciones de diferentes tipos de MEMS y apoye en la realización de diferentes prácticas de laboratorio, utilizando MEMS comerciales para que se comprenda el uso de éstos, considerando y resaltando cada una de las secciones que componen dichos dispositivos, como la parte mecánica, eléctrica, electrónica, los protocolos utilizados para acceder a la información que generan.



Posterior al trabajo con MEMs comerciales, se debe trabajar en el diseño y simulación de MEMs utilizando software especializado, a fin de que quienes participan en el curso conozcan y comprendan dichos procesos de diseño.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Tecnológico Nacional de México, del 24 al 28 de abril de 2023.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería en Semiconductores.
Tecnológico Nacional de México, del 22 al 24 de mayo de 2023.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes.	Reunión Nacional de Consolidación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería en Semiconductores.

4. Logro formativo a desarrollar en la asignatura

Saberes, habilidades y destrezas de la asignatura

Analizar y diseñar micro dispositivos, micro y nanosistemas, para realizar aplicaciones que resuelvan problemáticas en los diversos sectores de desarrollo tecnológico, utilizando herramientas CAD especializadas para el diseño y simulación de estos dispositivos, a fin de asegurar su funcionalidad.

5. Saberes, habilidades y destrezas previas

Identificar y clasificar los diferentes tipos de sensores disponibles en el mercado para construir o escoger la etapa de acondicionamiento adecuada para el sensor a utilizar. Selecciona, diseña y aplica sistemas de adquisición para interpretar, monitorear y controlar el comportamiento de sistemas físicos mediante el uso de instrumentos de medición y actuadores. Diseña y construye sistemas digitales para la automatización de procesos industriales, mediante la configuración y programación adecuada de los mismos.

Comprende los conceptos básicos de las leyes y principios fundamentales de la Óptica y Física Moderna



para aplicarlos en problemas del ámbito profesional.

Desarrollar un alto dominio conceptual de las tecnologías para los procesos de fabricación y diseño de dispositivos semiconductores y circuitos electrónicos integrados a nivel micro y nano escala.

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Introducción	1.1. Nuevas tendencias en ciencia e ingeniería: Sistemas a micro y nano escala. 1.2. Descripción general de sistemas micro y nanoelectromecánicos. 1.3. Introducción al diseño de MEMS y NEMS. 1.4. Aplicaciones de sistemas micro y nanoelectromecánicos. 1.5. Sistemas microelectromecánicos. 1.5.1. Definiciones de dispositivos y estructuras. 1.5.2. Materiales para MEMS: 1.5.2.1. Silicio 1.5.2.2. Compuestos de silicio 1.5.2.3. Polímeros 1.5.2.4. Metales 1.5.3. Software para el diseño de sistemas MEMs. 1.5.4. 1.5.4. Diseño de un sistema MEM básico.
2	Transductores MEMs.	2.1 Transductores mecánicos. 2.1.1 Sensores mecánicos. 2.1.2 Actuadores mecánicos. 2.2 Transductores de radiación. 2.2.1 Sensores de radiación. 2.2.2 Actuadores de radiación (ópticos) 2.3 Transductores térmicos 2.3.1 Sensores térmicos. 2.3.2 Actuadores térmicos. 2.4 Transductores magnéticos. 2.4.1 Sensores magnéticos.



		<p>2.4.2 Actuadores magnéticos.</p> <p>2.5 Transductores químicos y biológicos.</p> <p>2.5.1 Sensores químicos y biológicos.</p> <p>2.5.2 Actuadores químicos.</p>
3	Tecnologías de fabricación de MEMS	<p>3.1 Procesos de fabricación de microsistemas.</p> <p>3.1.1 Fotolitografía.</p> <p>3.1.2 Implantación de iones.</p> <p>3.1.3 Difusión.</p> <p>3.1.4 Oxidación.</p> <p>3.2 Depósitos de película delgada.</p> <p>3.2.1 LPCVD</p> <p>3.2.2 Sputtering.</p> <p>3.2.3 Evaporación.</p> <p>3.2.4 Galvanoplastia (electroplating)</p> <p>3.3 Técnicas de grabado.</p> <p>3.3.1 Grabado en seco y en húmedo</p> <p>3.3.2 Grabado electromecánico.</p> <p>3.4 Micromaquinado.</p> <p>3.4.1 Bulk micromachining.</p> <p>3.4.2 Micromaquinado de superficie.</p> <p>3.4.3 Tecnología de alta relación de aspecto (LIGA y LIGA-Like)</p> <p>3.5 Empaquetado.</p> <p>3.5.1 Empaquetado de microsistemas.</p> <p>3.5.1 Tecnología esencial de empaquetado.</p> <p>3.5.2 Selección de materiales para empaquetado.</p>
4	MEMs para RF.	<p>4.1 Introducción a la tecnología RF MEMs.</p> <p>4.1.1 Necesidad de componentes RF MEMs en comunicaciones, aplicaciones espaciales y de defensa.</p> <p>4.1.2 Materiales y fabricación de tecnologías.</p> <p>4.2 Componentes y dispositivos RF MEMs.</p> <p>4.2.1 Conmutadores MEMs.</p> <p>4.2.2 Capacitores MEMs.</p> <p>4.2.3 Inductores MEMs.</p> <p>4.2.4 Microrresonadores.</p> <p>4.2.5 Desfasadores MEMs.</p> <p>4.2.6 Antenas MEMs.</p>



		4.4 Aplicaciones de MEMs para RF.
5	Nanosistemas (NEMs) y mecánica cuántica.	5.1 Estructuras atómicas y mecánica cuántica. 5.2 Dinámica molecular y de nanoestructura: Ecuación de Schrodinger y teoría de la función de onda. 5.3 Teoría funcional de densidad. 5.4 Campos electromagnéticos y su cuantificación. 5.5 Cables y circuitos moleculares.

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Introducción	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Conoce las tendencias actuales de la ingeniería aplicada en el uso de MEMs y NEMs, identifica las características principales de los sistemas MEMs y NEMs, sus aplicaciones y materiales con los que están contruidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis. • Usar las tecnologías de la información y comunicación para realizar búsquedas de información técnica especializada. • Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas. • Capacidad de comunicación oral y escrita. • Capacidad de aprender, capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) 	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de información en medios electrónicos formales de las tendencias relacionadas a la tecnología electromecánica principalmente con las aplicaciones de MEMs y NEMs en campos como la medicina, el audio, la industria automotriz, las telecomunicaciones y otras áreas. • Ejemplifica en un resumen las características de los sistemas MEMs y NEMs, así como los materiales más utilizados para su diseño y fabricación. • Ejemplifica en un cuadro sinóptico la estructura básica de un sistema MEM. • Búsqueda bibliográfica sobre cómo diseñar un sistema MEM básico.
2. Transductores MEMs.	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Aplica que son los transductores, sensores y actuadores para simular y diseñar MEMs de radiación, térmicos, magnéticos, químicos y biológicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de uso en las tecnologías de la información y 	<ul style="list-style-type: none"> • Buscar información de los materiales utilizados para fabricar sensores y actuadores, así como del principio de funcionamiento de éstos, de acuerdo con su campo de aplicación. • Exponer frente al grupo la información recabada.



<p>comunicación para realizar búsquedas de información técnica especializada.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Capacidad de integración. ● Capacidad de análisis y síntesis, ● Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas. ● Comunicación oral y escrita. ● Sentido ético de la vida. ● Habilidades de investigación. ● Capacidad de aprender, capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Emplea software especializado en el diseño de MEMs para simular sensores para aplicaciones específicas. ● Emplea software especializado en el diseño de MEMs para simular actuadores para aplicaciones específicas.
<p>3. Tecnologías de fabricación de MEMS</p>	
<p>Saberes, habilidades y destrezas</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Aplica los procesos de fabricación de MEMS más utilizados en la industria para elegir el material, el método de fabricación y el proceso de empaque más adecuado, acorde con los requerimientos de la aplicación.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Capacidad de uso de las tecnologías de la información y comunicación para realizar búsquedas de información técnica especializada. ● Capacidad de análisis y síntesis, ● Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas. ● Comunicación oral y escrita. ● Habilidades de investigación. ● Capacidad de aprender, capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Búsqueda de información sobre los procesos utilizados para la fabricación de MEMs en la industria actual. ● Usar un cuadro comparativo para seleccionar el método de fabricación de un sistema MEM de acuerdo con la aplicación del mismo y la tecnología que hay en la región y en el mundo. ● Realiza un cuadro comparativo para identificar las etapas del proceso de empaquetado de un sistema MEM. ● Realiza un cuadro comparativo para seleccionar el material de un sistema MEM específico de acuerdo con la aplicación, la tecnología actual en la región y los materiales en ésta.



4. MEMs para RF.	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Analiza el funcionamiento de los componentes y dispositivos básicos utilizados en las telecomunicaciones con radiofrecuencia y la tecnología actual de sistemas MEMs para diseñar sistemas con aplicación en este sector.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de uso de las tecnologías de la información y comunicación para realizar búsquedas de información técnica especializada. • Capacidad de análisis y síntesis, • Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas. • Comunicación oral y escrita. • Habilidades de investigación. • Capacidad de aprender, capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) 	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de información sobre los sistemas MEMs actuales utilizados en las telecomunicaciones con radiofrecuencia. • Búsqueda de información sobre los materiales más utilizados en la fabricación de sistemas MEMs aplicados a las telecomunicaciones con radiofrecuencia. • Analizar el funcionamiento de los componentes y dispositivos básicos usados en las telecomunicaciones con radiofrecuencia, presentando una exposición oral frente al grupo. • Emplea software especializado en el diseño de MEMs básicos para simular telecomunicaciones con radiofrecuencia. • Emplea software especializado en el diseño de MEMs básicos para simular un sistema MEM aplicado a las telecomunicaciones con radiofrecuencia.
5. Nanosistemas (NEMs) y mecánica cuántica.	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Analiza el principio básico de funcionamiento de sistemas NEMs, los efectos de los campos electromagnéticos sobre éstos y el principio básico de los cables y circuitos moleculares fundamentándose en la mecánica cuántica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de uso de las tecnologías de la información y comunicación para realizar 	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de información sobre el principio básico de funcionamiento de un sistema NEM tomando como base la mecánica cuántica y exponer una presentación oral frente al grupo. • Búsqueda de información sobre la ecuación de Schrodinger aplicada a los sistemas NEMs. • Esquematiza en una reseña los efectos de los campos electromagnéticos en los sistemas NEMs.



<p>búsquedas de información técnica especializada.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Capacidad de integración. ● Capacidad de análisis y síntesis, ● Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas. ● Comunicación oral y escrita. ● Habilidades de investigación. ● Capacidad de aprender, capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Búsqueda de información sobre el funcionamiento y las aplicaciones de los cables y circuitos moleculares (electrónica molecular).
--	---

8. Práctica(s)

Se sugieren como prácticas:

- Diseñar aplicaciones utilizando MEMs de aceleración.
- Diseñar aplicaciones utilizando MEMs de posición.
- Diseñar aplicaciones utilizando MEMs de campo magnético.
- Diseñar aplicaciones utilizando MEMs de RF.
- Diseñar y simular MEMs de diferentes tipos, utilizando software especializado.

9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance del(los) logro(s) formativo(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:

- **Fundamentación:** marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.
- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.
- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de los saberes, habilidades y destrezas a desarrollar.
- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a



mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

10. Evaluación de saberes, habilidades y destrezas

- Mapa de habilidades- Lista de cotejo.
- Exámenes - Rúbrica
- Presentación de informes técnicos sobre los temas trabajados. Rúbrica
- Análisis comparativo- Rúbrica
- Exposiciones frente a grupo- Guía de observación
- Participación en los foros de discusión y análisis. Guía de observación
- Reporte de prácticas. Guía de observación

11. Referencias

- Madou, M. J. (2018). *Fundamentals of Microfabrication and Nanotechnology, Three-Volume Set*. CRC Press.
- Hsu, T. (2020). *MEMS and Microsystems: Design, Manufacture, and Nanoscale Engineering*. John Wiley & Sons.
- Fujita, H. (2012). *Micromachines as Tools for Nanotechnology*. Springer Science & Business Media.
- Zhou, G., & Lee, C. (2021). *Optical MemS Nanophotonics and Their Applications*. CRC Press.
- Gatzen, H. H., Saile, V., & Leuthold, J. (2015). *Micro and Nano Fabrication: Tools and Processes*. Springer.
- Lyshevski, S. E. (2018). *MEMS and NEMS: Systems, Devices, and Structures*. CRC Press.
- Verd, J., & Segura, J. (2019). *Development of CMOS-MEMS/NEMS Devices*. MDPI.
- Koley, G. (2019). *MEMS/NEMS Sensors: Fabrication and Application*. MDPI.
- Kottapalli, A. G. P., Tao, K., Sengupta, D., & Triantafyllou, M. S. (2019). *Self-Powered and Soft Polymer MEMS/NEMS Devices*. Springer.
- Vega, D. R. (2020). *Nanomecánica*. LOS LIBROS DE LA CATARATA.
- González, F. J. (2021). *Introducción a la Nanotecnología*.
- Poole, C. P., & Owens, F. J. (2007). *Introducción a la nanotecnología*. Reverte.