



## 1. Datos Generales de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura:</b>	Física del Estado Sólido
<b>Clave de la asignatura:</b>	SEF-2311
<b>SATCA<sup>1</sup>:</b>	3 – 2 – 5
<b>Carrera:</b>	Ingeniería en Semiconductores

## 2. Presentación

### Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero en Semiconductores las competencias necesarias para comprender e interpretar las relaciones que existen entre la estructura y los defectos cristalinos sobre las propiedades de los materiales. Analiza el proceso de difusión y lo relaciona con los mecanismos de formación de los materiales.

Física del Estado Sólido es una asignatura básica para otras como las asignaturas de Caracterización Estructural y Caracterización óptica y electrónica. Aplicar los conocimientos fundamentales de cristalografía e interpretar y justificar los resultados de las técnicas de caracterización al conocer las diferentes estructuras cristalinas.

La importancia de la asignatura se encuentra en los fundamentos que rigen y explican las características que poseen los materiales debido a su estructura.

La asignatura de Física del Estado Sólido requiere de competencias básicas como estructura atómica y enlaces químicos para aplicar en la formación de una solución sólida. Conceptos básicos de la asignatura Electromagnetismo para explicar el origen de las propiedades físicas de un material. Requiere del dominio de Ecuaciones Diferenciales, para obtener la solución de las Leyes de Fick. Además, los conceptos básicos de Termodinámica son requeridos para que el alumno pueda calcular la energía de activación del proceso difusivo. Con los conceptos adquiridos en Química II, Física Moderna, Tópicos Selectos de Física podrá explicar la Teoría de Bandas y los conceptos de conductividad, superconductividad de los materiales y propiedades ópticas y las estructuras cristalinas.

En términos generales se puede establecer que la Física del Estado Sólido es la base para el entendimiento de las propiedades físicas de los materiales semiconductores.

<sup>1</sup> Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



**Intención didáctica**

La asignatura de Física del Estado Sólido está diseñada de tal manera que el estudiante empiece a integrar los conocimientos de las áreas de química, física y matemáticas en el estudio del comportamiento de los materiales.

Integra 4 temas, en el tema uno se presenta el punto relacionado con la estructura cristalina de los materiales, la cual está íntimamente relacionada con la estructura atómica y el tipo de enlace que estos presentan, también se hace uso de los principios de simetría, difracción de rayos X como herramienta para la caracterización estructural de los materiales.

En el tema dos se describe la estructura electrónica de un material en función de las bandas de energía que apoyará la conceptualización de cómo los átomos metálicos se unen entre sí y porque son tan buenos conductores de la electricidad mientras que otros materiales son aislantes.

En el tema tres se estudia e identifica los defectos que existen en la estructura cristalina, su origen, así como su control. Además, establece la importancia de ellos en la mejora de la resistencia mecánica de materiales cristalinos. Posteriormente, se estudia la influencia de la estructura electrónica en las propiedades eléctricas, magnéticas, térmicas, ópticas y mecánicas estableciendo la importancia de la naturaleza dual del electrón en la aportación de cada una de estas propiedades. Se propone la solución de problemas que involucren el uso de materiales en aplicaciones prácticas.

El fenómeno de difusión se estudia en el tema cuatro, los mecanismos involucrados en el proceso difusivo y su efecto en las propiedades físicas.

Se recomienda que el docente posea amplio conocimiento de Química, Mecánica Clásica, Termodinámica, Física Moderna y Ecuaciones Diferenciales, para relacionar las competencias adquiridas previamente por los estudiantes con los de la presente asignatura. Es importante verificar la disponibilidad de información para el estudio de casos reales o prácticos, haciendo uso de materiales audiovisuales o documentales.

**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: Chihuahua, Irapuato, Mérida, Purísima del Rincón, Querétaro y Tijuana.	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: Chihuahua, Irapuato, Mérida, Purísima del Rincón, Querétaro y Tijuana.	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

Identifica las propiedades físicas de los materiales a través del estudio de la estructura electrónica y cristalina de los sólidos para determinar su aplicación.

#### 5. Saberes, habilidades y destrezas previas

- Aplica los conceptos fundamentales de química para la descripción de estructura atómica y enlaces químicos.
- Relaciona los conceptos básicos de Electromagnetismo, física moderna con el origen de las propiedades en los diferentes materiales.
- Interpreta modelos matemáticos para explicar los fenómenos físicos.

#### 6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Estructura cristalina	1.1. Introducción a la estructura atómica y energía de enlace (curvas energía-distancia y fuerza-distancia). 1.2. Redes espaciales y celdas unitarias. 1.3. Índices de Miller. 1.4. Densidad lineal y densidad planar. 1.5. Factor de empaquetamiento. 1.6. Cálculo de la densidad teórica a partir de parámetros cristalinos. 1.7. Sistema cristalino cúbico: Estructura cúbica centrada en el cuerpo, cúbica centrada en las caras. 1.8. Estructura hexagonal compacta.



		<p>1.9. Alotropía y polimorfismo. 1.10. Simetría. 1.11. Proyección estereográfica. 1.12. Red Recíproca. 1.13. Principios de difracción cristalina. 1.14. Determinación de la estructura cristalina mediante la Ley de Bragg.</p>
2	Teoría de bandas	<p>2.1 Teorías del enlace químico. 2.2 Formación de bandas de energía.     2.2.1 Banda de valencia y banda de conducción. 2.3 Teorema de Bloch. 2.4 Cálculo de bandas de energía. 2.5 Modelo del electrón libre.     2.5.1 Metales, semimetales, semiconductores, aislante. 2.6 Masa efectiva. 2.7 Concepto de hueco.</p>
3	Propiedades de los materiales	<p>3.1 Defectos estructurales.     3.1.1 Tipos de defectos.     3.1.2 Defectos puntuales.     3.1.3 Defectos lineales.     3.1.4 Defectos superficiales. 3.2 Propiedades de los materiales.     3.2.1 Propiedades eléctricas     3.2.2 Propiedades magnéticas     3.2.3 Propiedades ópticas     3.2.4 Propiedades térmicas     3.2.5 Propiedades mecánicas</p>
4	Soluciones sólidas y difusión.	<p>4.1 Fases intermedias. 4.2 Soluciones sólidas intersticiales. 4.3 Soluciones sólidas sustitucionales. 4.4 Soluciones ordenadas y desordenadas. 4.5 Primera Ley de Fick y Segunda Ley de Fick. 4.6 Mecanismos de difusión. 4.7 Factores que influyen en la difusión.</p>



## 7. Actividades de aprendizaje de los temas

<b>1. Estructura cristalina.</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Identifica las diferentes estructuras cristalinas que presentan los materiales para relacionarlas con sus propiedades físicas y la solución de problemas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacidad de integración.</li> <li>● Capacidad de análisis y síntesis,</li> <li>● Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas.</li> <li>● Comunicación oral y escrita.</li> <li>● Habilidades de investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Construir modelos de estructuras cristalinas en tres dimensiones y describirlos de acuerdo con los diferentes modelos de representación.</li> <li>● Clasificar e identificar los diferentes sistemas cristalinos con la elaboración de un mapa conceptual.</li> <li>● Aplicar el método de indexación de Miller en direcciones y planos de compactación de átomos.</li> <li>● Resolver ejemplos de densidades teóricas y factor de empaquetamiento empleando datos de estructura cristalina.</li> <li>● Discutir el concepto de anisotropía y polimorfismo y establecer las ventajas de los materiales que presentan este tipo de fenómeno.</li> <li>● Relacionar los conceptos de simetría y relacionarlos con la caracterización estructural de materiales.</li> <li>● Aplicar la Ley de Bragg en la solución de problemas.</li> </ul>
<b>2. Teoría de Bandas.</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Explica cómo los átomos en estructuras cristalinas se unen entre sí y su relación con sus propiedades eléctricas para identificar sus posibles aplicaciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacidad de integración.</li> <li>● Capacidad de análisis y síntesis,</li> <li>● Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas.</li> <li>● Comunicación oral y escrita.</li> <li>● Habilidades de investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Elaborar un diagrama para distinguir la diferencia entre las bandas de energía para clasificar los materiales conductores, semiconductores y aislantes.</li> </ul>



<b>3. Propiedades de los materiales</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Conoce y analiza los diferentes tipos de defectos que se presentan en las estructuras cristalinas para determinar sus efectos en las propiedades de los materiales e identifica la relación que existe entre la teoría estructural y electrónica de los materiales para relacionarlas con sus propiedades.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de integración.</li> <li>• Capacidad de análisis y síntesis,</li> <li>• Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas.</li> <li>• Comunicación oral y escrita.</li> </ul> <p>Habilidades de investigación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificar los diferentes tipos de defectos estructurales de acuerdo con su dimensionalidad.</li> <li>• Definir el término de energía de activación para la creación de vacancias y relacionarlo con el punto de fusión de los materiales.</li> <li>• Analizar el efecto que tiene la presencia de vacancias en términos de estados de tensión o compresión de la red cristalina para establecer el efecto sobre las propiedades mecánicas, así como su efecto en las propiedades eléctricas de los materiales.</li> <li>• Exponer y discutir ejemplos de materiales de uso en la ingeniería que presenten algún tipo de defecto.</li> <li>• Explicar cómo la naturaleza dual del electrón repercute en las propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas y térmicas de los materiales.</li> <li>• Explicar cómo el predominio de un tipo de enlace determina el comportamiento eléctrico, magnético, térmico de los materiales.</li> <li>• Discutir los conceptos de refracción, reflexión, difracción, absorción, opacidad, translucidez, luminiscencia, transmitancia y fotoconductividad.</li> <li>• Realizar una investigación acerca del comportamiento de las fibras ópticas y de láser.</li> </ul>
<b>4. Soluciones Sólidas y Difusión</b>	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Conoce e identifica los factores que afectan la formación de una solución sólida para determinar los efectos que tiene en las propiedades de los materiales. Analiza los mecanismos y aplica leyes establecidas para explicar el fenómeno de difusión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los diferentes tipos de soluciones sólidas.</li> <li>• Aplicar las reglas de Hume – Rothery para la formación de una solución sólida parcial y totalmente soluble.</li> <li>• Revisar ejemplos de soluciones sólidas intersticiales y sustitucionales.</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacidad de integración.</li> <li>● Capacidad de análisis y síntesis,</li> <li>● Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas.</li> <li>● Comunicación oral y escrita.</li> <li>● Habilidades de investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Definir el concepto de difusión para conocer la importancia de este fenómeno en el endurecimiento superficial de los materiales.</li> <li>● Conocer las leyes que rigen el proceso de difusión y analizar los parámetros involucrados en el mismo en estado estacionario y no estacionario</li> <li>● Resolver problemas demostrativos aplicando la primera y segunda ley de Fick.</li> <li>● Analizar el efecto de la temperatura en la magnitud del coeficiente de difusión para conocer las condiciones óptimas en un tratamiento de endurecimiento superficial.</li> </ul>
---	---

### 8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> <li>● Elaboración de las redes de Bravais del sistema cúbico y hexagonal empleando esferas de poliestireno.</li> <li>● Determinar los ángulos entre planos y direcciones haciendo uso de la proyección estereográfica.</li> </ul>
--

### 9. Proyecto de asignatura

<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Fundamentación:</b> 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.</li> <li>● <b>Planeación:</b> 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.</li> <li>● <b>Ejecución:</b> 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.</li> <li>● <b>Evaluación:</b> 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</li> </ul>
--



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**

Para esta asignatura se recomiendan: mapas conceptuales, reportes, estudios de casos, exposiciones en clase, ensayos, solución de problemas y exámenes Para verificar el nivel del logro de las competencias del estudiante se recomienda utilizar: listas de cotejo, listas de verificación, rúbricas.

### **11. Referencias**

Kittel, C. H. (2004) Introduction to Solid State Physics. USA: John Wiley & Sons  
Cullity, B. D. & Stock, S.R & (2001) Elements of X – Ray Diffraction. Prentice Hall.  
Callister, W. D. & Rethwisch (2013) Materials Science and Engineering: An Introduction. Wiley Sons.  
Shackelford, J.F. (2010) Introducción a la Ciencia de materiales para Ingenieros. España: Pearson.  
Smith W. (2006) Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. España: McGraw Hill.  
Askeland, Donald R (2012) Ciencia e Ingeniería de los Materiales. México: Cengage Learning