

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Física del Estado Sólido
Clave de la asignatura:	MAU-1011
SATCA¹:	5-1-6
Carrera:	Ingeniería en Materiales

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

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

Física del Estado Sólido es una asignatura básica para otras como son:

- Diagramas de Equilibrio: pues le proporciona las herramientas necesarias para que el estudiante pueda aplicar las reglas de Hume-Rothery e identifique el tipo de solución sólida que se forma cuando se combinan dos elementos.
- En las asignaturas de: Comportamiento Mecánico, Transiciones de Fase y Tratamientos Térmicos, el estudiante desplegará su capacidad para interpretar y justificar los resultados mecánicos, mecanismo de transformación y cambios de fase, a través de los mecanismos de endurecimiento y defectos de la estructura cristalina.
- Las competencias de esta asignatura podrán ser empleados en Análisis de Fallas, donde el alumno requiere conocer la naturaleza de la estructura cristalina y defectos estructurales para poder explicar el mecanismo de falla de un material.

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 Electricidad, Magnetismo y Óptica 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 Mecánica Clásica podrá explicar la Teoría de Bandas y los conceptos de conductividad, superconductividad de los materiales.

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 metálicos, cerámicos, poliméricos, compuestos.

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

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

del comportamiento de los materiales.

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.

El tema dos 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.

En el tema tres se estudian e identifican 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.

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

Finalmente, en el tema cinco se revisan los mecanismos de endurecimiento, su relación con los defectos en cristales y su efecto en la resistencia mecánica de un material.

Se recomienda que el docente posea amplio conocimiento de Química, Mecánica Clásica, Termodinámica, 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	Evento
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec del 9 al 13 de noviembre de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Superior de Calkiní, Chihuahua, Superior de Irapuato, Morelia, Saltillo, Superior de Tlaxco y Zacatecas.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería en Materiales, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial.
Instituto Tecnológico de Zacatecas del 12 al 16 de abril de 2010.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Superior de Calkiní, Chihuahua, Superior de Irapuato, Morelia, Saltillo, Superior de Tlaxco y Zacatecas.	Reunión Nacional de Consolidación de los Programas en Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería en Materiales, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial.
Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, del 24 al 27 de junio de	Representantes de los Institutos Tecnológicos de:	Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de las

2013.	Cd. Victoria, Chihuahua, Irapuato, Morelia, Querétaro, Saltillo y Zacatecas.	Carreras de Ingeniería en Energías Renovables, Ingenierías en Geociencias, Ingeniería en Materiales y Licenciatura en Biología del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos.
Instituto Tecnológico de Toluca, del 10 al 13 de febrero de 2014.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Saltillo.	Reunión de Seguimiento Curricular de los Programas Educativos de Ingenierías, Licenciaturas y Asignaturas Comunes del SNIT.

4. Competencia(s) a desarrollar

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

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> • Aplica los conceptos de estructura atómica y enlaces químicos. • Relaciona los conceptos básicos de Electricidad, Magnetismo y Óptica con el origen de las propiedades en los diferentes materiales. • Aplica las ecuaciones diferenciales en la solución de las Leyes de Fick. • Calcula energía de activación.

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. Densidades lineal y densidad planar 1.5. Factor de empaquetamiento, 1.6. Calculo 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 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
2	Propiedades de los materiales	2.1. Teoría de Bandas 2.2. Propiedades eléctricas 2.3. Propiedades magnéticas 2.4. Propiedades ópticas 2.5. Propiedades térmicas 2.6. Propiedades mecánicas
3	Defectos estructurales	3.1. Tipos de defectos 3.2. Defectos puntuales 3.3. Defectos lineales 3.4. Defectos superficiales
4	Soluciones sólidas y difusión	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
5	Mecanismos de endurecimiento	5.1. Endurecimiento por Trabajo en Frío 5.2. Endurecimiento por Soluciones Sólidas 5.3. Endurecimiento por Refinamiento de Grano 5.4. Endurecimiento por Precipitación

7. Actividades de aprendizaje de los temas

Estructura Cristalina	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica: Identifica y analiza las diferentes estructuras cristalinas que presentan los materiales para relacionarlas con sus propiedades físicas. Aplica el concepto de simetría y hace uso de las notaciones para identificar las operaciones de simetría</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de investigación. • Habilidad para buscar, procesar y analizar información. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar los conocimientos de química, para conocer el efecto que tiene la estructura atómica en la estructura cristalina de un material • Clasificar e identificar los diferentes sistemas cristalinos con la elaboración de un modelo físico • Aplicar el método de indexación de Miller en direcciones y planos de compactación de átomos. • Interpretar los conceptos de arreglo de corto y largo alcance para relacionarlos con algunas propiedades de materiales • Resolver ejemplos de densidades teóricas y factor de empaquetamiento empleando datos de estructura cristalina. • Discutir el concepto de anisotropía y polimorfismo y establecer las ventajas de los materiales que presentan este tipo de fenómeno.

	<ul style="list-style-type: none"> • Relacionar los conceptos de simetría y relacionarlos con la caracterización estructural de materiales. • Emplear la red de Wulff para medir el ángulo entre planos y direcciones cristalinos. • Aplicar la Ley de Bragg en la solución problemas
Propiedades de los Materiales	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica: Comprende, analiza e identifica la relación que existe entre la teoría estructural y electrónica de los materiales en relación a las propiedades físicas.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de investigación. • Habilidad para buscar, procesar y analizar información. • Capacidad de trabajo en equipo. • Capacidad para plantear, identificar y resolver problemas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el movimiento de los electrones de un cristal. • Distinguir la diferencia entre las bandas de energía y establecer la correspondiente para un conductor, semiconductor y aislante. • Aplicar el conocimiento de la estructura electrónica para entender la naturaleza dual del electrón y analizar como repercute esta en las propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas y térmicas de los materiales. • Explicar como el predominio de un tipo de enlace determina el comportamiento eléctrico, magnético, térmico de los materiales. • Discutir los conceptos de refracción, reflexión, difracción, absorción, opacidad, translucencia, luminiscencia, transmitancia y fotoconductividad. • Realizar una investigación acerca del comportamiento de las fibras ópticas y de láser.
Defectos de Materiales Cristalinos	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica: Conoce y analiza los diferentes tipos de defectos que se presentan en las estructuras cristalinas para identificar su efecto en las propiedades de los materiales. Establece mecanismos de control de los defectos en materiales cristalinos.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de investigación. • Habilidad para buscar, procesar y analizar información. • Capacidad de trabajo en equipo. • Capacidad para plantear, identificar y 	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificar los diferentes tipos de defectos estructurales de acuerdo a su dimensionalidad. • Estudiar el efecto térmico en la generación de vacancias de acuerdo al modelo matemático tipo Arrhenius. • Definir el término de energía de activación para la creación de vacancias y relacionarlo con el punto de fusión de los materiales. • 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.

<p>resolver problemas. Compromiso con la calidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudiar el efecto de las vacancias en las propiedades eléctricas de los materiales. • Identificar y calcular el tamaño de los sitios octaédricos y tetraédricos. • Conocer el efecto que produce la presencia de los defectos c en una red cristalina para estableces su efecto en las propiedades mecánicas de un material. • Exponer y discutir ejemplos de materiales ingenieriles que presenten algún tipo de defectos.
<p>Soluciones Sólidas y Difusión</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica: 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. Conoce el fenómeno de difusión, analiza los mecanismos y aplica leyes establecidas para el explicar el fenómeno de difusión.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de investigación. • Habilidad para buscar, procesar y analizar información. • Capacidad crítica y auto-crítica. • Capacidad de trabajo en equipo 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los diferentes tipos de soluciones sólidas. • Aplicar las reglas de Hume – Rothery para la formación de una solución sólida parcial y totalmente soluble. • Revisar ejemplos de soluciones sólidas intersticiales y sustitucionales. • Definir el concepto de difusión para conocer la importancia de este fenómeno en el endurecimiento superficial de los materiales. • Conocer las leyes que rigen el proceso de difusión y analizar los parámetros involucrados en el mismo en estado estacionario y no estacionario • Resolver problemas demostrativos aplicando la primera y segunda ley de Fick. • Analizar el efecto de la temperatura en la magnitud del coeficiente de difusión para conocer las condiciones optimas en un tratamiento de endurecimiento superficial.
<p>Mecanismos de Endurecimiento</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica: Integra los conocimientos en propiedades mecánicas, defectos estructurales y fenómeno de difusión para analizar los mecanismos de endurecimiento en materiales.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de investigación. • Habilidad para buscar, procesar y analizar 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer y determinar las condiciones necesarias para que se origine el endurecimiento por deformación mecánica en frío. • Analizar el efecto de los átomos solutos en la formación de soluciones solidas y relacionar este fenómeno en el endurecimiento de materiales.

<p>información.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad crítica y auto-crítica. • Capacidad de trabajo en equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emplear la ecuación de Hall – Petch para establecer el efecto del refinamiento de grano en el mejoramiento de la resistencia mecánica de materiales. • Resolver problemas prácticos empleando la ecuación de Hall – Petch. • Analizar el efecto de los mecanismos de transformaciones de fase y su efecto sobre las estructuras y propiedades de los materiales.
--	--

8. Prácticas

<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de las redes de Bravais del sistema cúbico y hexagonal empleando esferas de poliestireno. • Determinar los ángulos entre planos y direcciones haciendo uso de la proyección estereográfica. • Observación de micrografías de diferentes tamaños de grano para analizar los defectos de superficie y relacionarlo con la diferencia en dureza determinada experimentalmente.

9. Proyecto de asignatura

<p>El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 las competencias genéricas y específicas 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”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.
--

10. Evaluación por competencias

<p>Para evaluar las actividades de aprendizaje se recomienda: mapas conceptuales, reportes, estudios de casos, exposiciones en clase, ensayos, solución de problemas y exámenes</p> <p>Para verificar el nivel del logro de las competencias del estudiante se recomienda utilizar: listas de cotejo, listas de verificación, rubricas.</p>

11. Fuentes de información

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