

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Física del Estado Sólido
Clave de la asignatura:	NAF-0908
SATCA¹:	3-2-5
Carrera:	Ingeniería en Nanotecnología

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

La Física del Estado Sólido es la ciencia que estudia las propiedades físicas de los materiales sólidos, apoyándose en disciplinas como la cristalografía, mecánica cuántica, termodinámica y metalurgia física, formando la base teórica de la ciencia de los materiales. La asignatura de física del estado sólido aporta al estudiante de la carrera de ingeniería en nanotecnología los conocimientos básicos para entender las propiedades físicas de los sólidos, abordando temas a nivel atómico y relacionándolos con sus propiedades a nivel macroscópico.

Los temas integrados en esta asignatura incluyen un análisis de la estructura cristalina, electrónica y de la mecánica cuántica en general, lo que da soporte a las asignaturas relacionadas al ordenamiento atómico (nanoestructura), distribución de las fases y cristales (microestructura), hasta la macroestructura. En términos generales, se puede establecer que la física del estado sólido es la base para el entendimiento de las propiedades físicas de la materia, incluyendo a los nanomateriales.

Intención didáctica

El programa de Física del Estado Sólido está diseñado de tal manera que el alumno integre los conocimientos de las áreas de química y física en el estudio del comportamiento de los materiales. En el primero y segundo temas se adquieren los conocimientos que ayudan al alumno a entender el arreglo atómico que asumen los materiales en respuesta a su estructura electrónica. Dichos contenidos refuerzan los temas abordados en el tercero, donde se exponen los arreglos cristalinos que asumen los materiales bajo una consideración ideal. Algunos temas de los dos primeros ayudarán al alumno a considerar al sólido como algo imperfecto donde la diversidad atómica genera arreglos atómicos irregulares que, mediante un análisis macroscópico del sólido, dan lugar a los temas abordados en el cuarto y quinto tema. Finalmente, en el sexto tema, se abordan las propiedades físicas del sólido desde un punto de vista macroscópico.

¹ Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
<p>Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez del 27 al 29 de Abril de 2009.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Tijuana, Querétaro, Celaya, Saltillo, Ciudad Juárez, Superior de Irapuato, San Luis Potosí, Chihuahua.</p>	<p>Reunión Nacional de diseño e innovación curricular para el desarrollo de competencias profesionales de las carreras de Ingeniería en Nanotecnología e Ingeniería en Logística del SNEST.</p>
<p>Instituto Tecnológico de Puebla del 8 al 12 de Junio de 2009.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Tijuana, Querétaro, Celaya, Saltillo, Ciudad Juárez, Superior de Irapuato, San Luis Potosí, Chihuahua.</p>	<p>Reunión de seguimiento de diseño e innovación curricular para el desarrollo de competencias profesionales de las carreras de Ing. en Nanotecnología, Gestión Empresarial, Logística, y asignaturas comunes del SNEST.</p>
<p>Instituto Tecnológico de Mazatlán del 23 al 27 de Noviembre de 2009.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Tijuana, Querétaro, Ciudad Juárez, Superior de Irapuato, San Luis Potosí, Chihuahua.</p>	<p>Reunión de seguimiento de diseño e innovación curricular para el desarrollo de competencias profesionales de la carrera de Ing. en Nanotecnología, del SNEST.</p>
<p>Instituto Tecnológico de Villahermosa del 24 al 28 de Mayo de 2010.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Tijuana, Querétaro, Superior de Irapuato, Chihuahua, Saltillo.</p>	<p>Reunión de consolidación de diseño e innovación curricular para el desarrollo de competencias profesionales de la carrera de Ing. en Nanotecnología, del SNEST.</p>
<p>Tecnológico Nacional de México, del 26 al 30 de agosto de 2013.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Boca del Río y Mazatlán.</p>	<p>Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de las carreras de Ingeniería en Nanotecnología, Ingeniería Petrolera, Ingeniería en Acuicultura, Ingeniería en Pesquerías, Ingeniería Naval y Gastronomía del SNIT.</p>

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura

- Comprender el comportamiento físico de los sólidos a partir del estudio de su estructura.

5. Competencias previas

- Conoce la estructura atómica de la materia y los enlaces químicos de los elementos.
- Identifica las propiedades físicas de la materia.
- Lee el inglés técnico.

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Fundamentos de Mecánica Cuántica	1.1 Conocimientos básicos: 1.1.1 Las funciones de onda de un electrón y de un fotón 1.1.2 Valores esperados 1.1.3 Probabilidad y superposición 1.1.4 El operador de momento 1.2. Ecuación de Schrödinger 1.2.1 Solución de la ecuación de Schrödinger 1.2.2 Problemas típicos: Barreras y pozos de potencial rectangulares
2	Estructura Electrónica de los Materiales	2.1 Modelo del electrón libre 2.2 Funciones de Bloch 2.3 Modelo de Kronig-Penney 2.4 Modelo de bandas de energía
3	Estructura Cristalina	3.1 Simetría 3.2 Proyección estereográfica 3.3 Red recíproca 3.4 Principios de difracción cristalina 3.5 Determinación de la estructura cristalina mediante la Ley de Bragg
4	Soluciones sólidas y difusión	4.1 Soluciones sólidas intersticiales 4.2 Soluciones sólidas sustituibles 4.3 Soluciones ordenadas y desordenadas 4.4 Primera y segunda Ley de Fick 4.5 Mecanismos de Difusión
5	Defectos estructurales	5.1 Tipos de defectos 5.2 Defectos puntuales 5.3 Defectos lineales 5.4 Defectos superficiales

6	Propiedades Físicas de los Materiales	6.1 Propiedades Eléctricas 6.2 Propiedades Térmicas 6.3 Propiedades Magnéticas 6.4 Propiedades Ópticas 6.5 Propiedades Mecánicas
---	---------------------------------------	--

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Fundamentos de Mecánica Cuántica	
Competencias	Actividades de aprendizaje
Específica(s): <ul style="list-style-type: none"> • Predice la relación que tienen las ecuaciones de mecánica cuántica con las propiedades físicas de los materiales. • Analiza la relación directa de la teoría estructural y electrónica de los materiales con sus propiedades físicas. Genéricas: <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis, síntesis y abstracción. • Capacidad de comunicación oral y escrita. • Capacidad de gestión de información • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Capacidad crítica y autocrítica. • Razonamiento crítico. • Trabajo en equipo • Habilidades de investigación • Capacidad para aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de aprender • Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad). 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar las variables que se involucran en las ecuaciones de mecánica cuántica. • Describir la naturaleza dual del electrón mediante la ecuación de De Broglie. • Explicar cómo el predominio de un tipo de enlace determina el comportamiento eléctrico, magnético, térmico de los materiales. • Distinguir la diferencia entre las bandas de energía y establecer la correspondiente para un conductor, semiconductor y aislante.
2. Estructura Electrónica de los Materiales	
Competencias	Actividades de aprendizaje
Específica(s): <ul style="list-style-type: none"> • Relaciona la estructura electrónica con las propiedades físicas de los materiales. Genéricas: <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis, síntesis y abstracción. • Capacidad de comunicación oral y escrita. • Capacidad de gestión de información 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el comportamiento de los diferentes tipos de materiales magnéticos en base a los diferentes dominios magnéticos que se presentan en estos materiales. • Evaluar mediante un experimento práctico una de las ecuaciones abordadas en la unidad, alterando una de sus variables a la vez.

<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Capacidad crítica y autocrítica. • Razonamiento crítico. • Trabajo en equipo • Habilidades de investigación • Capacidad para aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de aprender • Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad). 	
<p>3. Estructura Cristalina</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifica las diferentes estructuras cristalinas. • Relaciona la estructura cristalina con propiedades de los materiales. • Aplica el concepto de simetría y aprender a usar las notaciones. • Aprende los métodos teóricos de caracterización estructural de los materiales aplicando los conceptos de red recíproca; así como el principio de funcionamiento de un tubo de rayos X. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis, síntesis y abstracción. • Capacidad de comunicación oral y escrita. • Capacidad de gestión de información • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Capacidad crítica y autocrítica. • Razonamiento crítico. • Trabajo en equipo • Habilidades de investigación • Capacidad para aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de aprender • Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad). 	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir los conceptos de refracción, reflexión, difracción. • Integrar los conocimientos de química y física para establecer el efecto de la estructura atómica sobre la estructura cristalina de un material. • Investigar los nuevos materiales que se están desarrollando y relacionarlo con los conceptos de estructura cristalina. • 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 y relacionarlo con algunas propiedades de materiales que presentan estos ordenamientos. • 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. • Relacionar los conceptos de simetría y relacionarlos con la caracterización estructural de materiales. • Emplear la red de Wulff como herramienta sencilla en la medición de ángulo entre planos y direcciones cristalinos. • Analizar y aplicar la Ley de Bragg en la



	solución de algunos problemas que incluya el uso e interpretación de fichas bibliográficas. <ul style="list-style-type: none"> • Indexar difractogramas de rayos X, haciendo uso de la Ley de Bragg en la comprobación de datos cristalinos. • Utilizar software de indexación de patrones de difracción de rayos X..
4. Soluciones sólidas y difusión	
Competencias	Actividades de aprendizaje
Específica(s): <ul style="list-style-type: none"> • Conoce e identificar los factores que afectan la formación de una solución sólida. • Estudia el fenómeno de difusión en los materiales ingenieriles, los mecanismos y las leyes establecidas para este fenómeno. Genéricas: <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis, síntesis y abstracción. • Capacidad de comunicación oral y escrita. • Capacidad de gestión de información • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Capacidad crítica y autocrítica. • Razonamiento crítico. • Trabajo en equipo • Habilidades de investigación • Capacidad para aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de aprender • Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad). 	<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. • Resolver ejemplos de soluciones sólidas intersticiales y sustituibles. • Definir el concepto de difusión y la importancia de este fenómeno en el endurecimiento superficial de los materiales. • Analizar los diferentes mecanismos de difusión y su relación con los defectos puntuales. • Conocer las leyes que rigen el proceso de difusión y analizar los parámetros involucrados en el mismo. • Establecer la diferencia que existe entre un estado estacionario y un estado no estacionario de difusión. • Analizar el concepto de energía de activación y ver ejemplos de diferentes metales para establecer el efecto de este parámetro en el fenómeno de difusión. • Resolver problemas prácticos de la primera Ley de Fick. • Aplicar la segunda Ley de Fick en la solución de problemas. • Analizar el efecto de la temperatura en la magnitud del coeficiente de difusión y establecer las condiciones óptimas en relación a tiempo y temperatura de tratamientos de endurecimiento superficial.

5. Defectos estructurales	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conoce y analiza los diferentes tipos de defectos que se presentan en las estructuras cristalinas. • Estudia la repercusión de la presencia de defectos estructurales en las propiedades mecánicas y eléctricas de los materiales. • Establece los mecanismos de control de los diferentes tipos de defectos en materiales cristalinos. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis, síntesis y abstracción. • Capacidad de comunicación oral y escrita. • Capacidad de gestión de información • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Capacidad crítica y autocrítica. • Razonamiento crítico. • Trabajo en equipo • Habilidades de investigación • Capacidad para aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de aprender • Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad). 	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificar los diferentes tipos de defectos estructurales de acuerdo a sus dimensiones. • Estudiar el efecto térmico en la generación de vacancias de acuerdo al establecimiento 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. • Estudiar el efecto de las vacancias en las propiedades eléctricas de los materiales. • Identificar y calcular el tamaño de los sitios octaédricos y tetraédricos. • Identificar la presencia de átomos intersticiales en una red cristalina para evaluar su efecto en las propiedades mecánicas de un material en términos de estados de tensión o compresión. • Establecer ejemplos de materiales ingenieriles que presenten el tipo de defecto de átomo intersticial. • Identificar la presencia de átomos sustitutos en una red cristalina para evaluar su efecto en las propiedades mecánicas de un material en términos de estados de tensión o compresión. • Distinguir los tipos de dislocaciones, su multiplicación, movimiento y reacción entre ellas. • Relacionar el movimiento de las dislocaciones con el comportamiento mecánico de los materiales cristalinos. • Establecer la reacción de las dislocaciones con los defectos puntuales y superficiales • Realizar cálculos de magnitudes de vectores de Burgers y densidad de

	<p>dislocaciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar el efecto de de los límites y tamaño de grano sobre las propiedades de los metales. • Analizar la presencia de las fallas de apilamiento y maclas en un material y su efecto sobre las propiedades mecánicas.
6. Propiedades Físicas de los Materiales	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selecciona y recomienda el uso de materiales en aplicaciones industriales, en base a las propiedades físicas que exhiban • Crea criterio en seleccionar, diferentes materiales de ingeniería para el sector industrial, de acuerdo a sus propiedades mecánicas. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis, síntesis y abstracción. • Capacidad de comunicación oral y escrita. • Capacidad de gestión de información • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Capacidad crítica y autocrítica. • Razonamiento crítico. • Trabajo en equipo • Habilidades de investigación • Capacidad para aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de aprender • Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad). 	<ul style="list-style-type: none"> • Resolver problemas relacionados con las propiedades eléctricas: conducción, resistencia, potencial eléctrico y densidad de corriente. • Realizar cálculos de capacidad calorífica y térmica, expansión térmica y resistencia al choque térmico. • Realizar una investigación acerca del comportamiento de las fibras ópticas y de láser. • Aplicar las fórmulas de esfuerzo deformación en la solución de problemas. • Elaborar la curva de esfuerzo vs deformación para identificar el comportamiento elástico de plástico de un material. • Determinar de manera teórica el esfuerzo de cedencia, máximo y de fractura. • Calcular la deformación de un material y relacionarla con la ductilidad del mismo. • Calcular el módulo de Young a partir de datos teóricos de carga y área de una probeta.

8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de las redes de Bravais del sistema cúbico y hexagonal animados, empleando <i>software</i> sencillo de diseño como <i>Solid Works</i> o equivalentes con el objetivo de visualizarlas de manera más clara. • 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.
--

- Evaluar propiedades físicas mediante un experimento simple:
 - Medición de la conductividad eléctrica utilizando un metal sometido a temperaturas extremas.
 - Evaluar la flexibilidad de un polímero a temperaturas extremas.
 - Ensayo de tensión de un polímero y un metal.
- Observar por MEB defectos en metales y en polímeros.
- Indexar patrones simples de difracción de rayos X de un metal y un cerámico.

9. Proyecto de asignatura

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:

- **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

La evaluación de la asignatura se hará con base en el siguiente desempeño:

- Exámenes parciales.
- Prácticas de laboratorio.
- Trabajos de investigación.
- Tareas.

11. Fuentes de información

1. Kittel, C. H. *Introduction to Solid State Physics*. John Wiley & Sons.
2. Cullity, B. D. *Elements of X – Ray Diffraction*. Addison – Wesley, 1976.
3. Callister, W. D. Jr. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley Sons.
4. Thornton, Peter A., Colangelo, Vito J. *Ciencia de Materiales Para Ingeniería*. Prentice – Hall, 1987.
5. Shackelford, J. F. *Ciencia de Materiales para Ingenieros*. Prentice – Hall, 1995.
6. Askeland, Donald R. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Internacional Thomson.
7. Reed – Hill Robert. *Principios de Metalurgia Física*. CECSA, 2ª. Edición.
8. Verhoeven, John D., J. D. *Fundamentos de Metalurgia Física*. Limusa.
9. Guy, A. G. *Metalurgia Física para Ingenieros*. Fondo Educativo Interamericano, 1970.
10. Avner, Sydney H. *Introducción a la Metalurgia Física*. McGraw – Hill, 1987.
11. Chalmers, Bruce. *Metalurgia Física*. Edición Aguilar.
12. Cahn, R. W. *Physical Metallurgy*. North Holland Publishing, 1984.
13. Woolfson, M. M. *An Introduction to X – Ray Crystallography*. Cambridge University Press, 1978.
14. Gaskell, David R. *Introduction to Metallurgical Thermodynamics*. McGraw – Hill, 1973.
15. Dieter, G. E. *Metalurgia Mecánica*. Ed. John Wiley & Sons.
16. Shewmon, P. G. *Transformation in Metals*. McGraw – Hill.
17. Porter, D. A. & K. E. *Easterling Phase Transformation in Metals and Alloys*. Van Nostrand Reinhold.
18. Riedderer – Verlag – F., Haessner *Recrystallization of Metallic Materials*. GMBH.
19. Himmel, L. *Recovery and Recrystallization of Metals*. Gordon and Breach.
20. Smith, William F. *Fundamento de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. McGraw – Hill, 1998.
21. Pavlov, P. V., Jojlov, A. F. *Física del Estado Sólido*. MIR Moscú, 1987.
22. Flint, E. *Principios de Cristalografía*. Moscú: Paz.
23. Yacamán, José Miguel, Reyes, José. *Microscopía Electrónica: Una Visión del Microcosmos*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Fondo de Cultura Económica, 1995.