

1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura: Física del Estado Sólido
Carrera: Ingeniería en Materiales
Clave de la asignatura: MAC – 0510
Horas teoría-horas práctica-créditos: 4 2 10

2.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones (cambios y justificación)
Instituto Tecnológico de Saltillo del 20 al 24 de Septiembre de 2004.	Representantes de las Academias de Ingeniería en Materiales de los Institutos Tecnológicos.	Reunión Nacional de Evaluación Curricular de la Carrera de Ingeniería en Materiales.
Institutos Tecnológicos de Chihuahua, Morelia y Saltillo.	Academias de la carrera de Ingeniería en Materiales.	Análisis y enriquecimiento de las propuestas de los programas diseñados en la Reunión nacional de evaluación curricular.
Instituto Tecnológico de Zacatecas del 28 de Febrero al 4 de Marzo de 2005.	Comité de Consolidación de la Carrera de Ingeniería en Materiales.	Definición de los Programas de Estudio de la Carrera de Ingeniería en Materiales.

3.- UBICACIÓN DE LA ASIGNATURA

a). Relación con otras asignaturas del plan de estudio

Anteriores	
Asignaturas	Temas
Física I	Estática de la partícula Estática del cuerpo rígido Cinemática de la partícula Cinemática del cuerpo rígido
Física II	Campo eléctrico Campo Magnético Óptica
Química Inorgánica	Enlace, Estructura y propiedades en compuestos químicos. Teoría cuántica y estructura atómica.
Termodinámica	Primera Ley de la Termodinámica. Segunda ley de la termodinámica. Energía Libre
Mineralogía y Procesamiento de Materias Primas	Cristalografía.
Matemáticas I, II, III, IV	

Posteriores	
Asignaturas	Temas
Transiciones de Fase	Diagramas de equilibrio, Cinética de las transformaciones de fase, Tratamientos superficiales, tratamientos térmicos típicos.
Comportamiento Mecánico de los Materiales	
Solidificación	Defectos de solidificación Crecimientos eutécticos y otros. Solidificación del estado amorfo
Conformado de Metales	Conformado en Caliente, Conformado en Frío, Metalurgia de polvos.
Caracterización Estructural	
Materiales Cerámicos	Propiedades de los cerámicos
Materiales Poliméricos	Estructura
Materiales Compuestos	Conceptos Básicos Interfases Propiedades
Materiales Avanzados	

b). Aportación de la asignatura al perfil del egresado.

- Comprender la relación entre la estructura y las propiedades de los materiales sólidos.

4.- OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DEL CURSO

Comprenderá el comportamiento físico y mecánico de los materiales a través del estudio de la estructura de los sólidos.

5.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Estructura cristalina I	1.1 Introducción a la estructura atómica 1.2 Redes espaciales y celdas unitarias 1.3 Índices de Miller 1.4 Factor de empaquetamiento, densidades lineales y densidades planares 1.5 Estructura cúbica centrada en el cuerpo, cúbica centrada en las caras y hexagonal compacta 1.6 Alotropía y polimorfismo
2	Estructura cristalina II	2.1 Proyección estereográfica 2.2 Simetría 2.3 Red recíproca 2.4 Principios de difracción cristalina 2.5 Determinación de la estructura cristalina
3	Propiedades físicas de los materiales	3.1 Teoría de bandas 3.2 Propiedades eléctricas 3.3 Propiedades magnéticas 3.4 Propiedades ópticas. 3.5 Propiedades térmicas
4	Defectos estructurales	4.1 Defectos puntuales 4.2 Defectos lineales: dislocaciones 4.3 Fallas de apilamiento y maclas 4.4 Deformación plástica de los materiales 4.5 Mecanismos de endurecimiento 4.6 Soluciones sólidas

5	Difusión	5.1 Mecanismos de difusión 5.2 Difusión en estado estacionario: 1ª Ley de Fick 5.3 Difusión en estado no estacionario: 2ª Ley de Fick 5.4 Factores que influyen en la difusión.
6	Mecanismos de endurecimiento	6.1 Endurecimiento por trabajado en frío 6.2 Endurecimiento por soluciones sólidas 6.3 Endurecimiento por refinación de tamaño de grano 6.4 Endurecimiento por precipitación
7	Recuperación, Recristalización y crecimiento de grano	7.1 Energía almacenada 7.2 Recuperación 7.3 Nucleación y crecimiento 7.4 Recristalización 7.5 Crecimiento de grano

6.- APRENDIZAJES REQUERIDOS

- Ecuaciones diferenciales
- Análisis vectorial
- Solución de matrices
- Tipos de enlace químico
- Principios de óptica
- Electricidad y Magnetismo
- Leyes de la Termodinámica
- Energía libre y entropía
- Cambios de estado

7.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Análisis y solución de problemas sobre estructuras cristalinas, soluciones sólidas, dislocaciones, crecimiento de grano y difusión.
- Seminarios sobre estructura cristalina, soluciones sólidas, dislocaciones, crecimiento de grano y difusión.
- Realizar investigaciones y análisis de la información relacionada con los temas de estructura cristalina, soluciones sólidas, dislocaciones, crecimiento de grano y difusión.

- Uso de software aplicado para la construcción de redes cristalinas y diagramas de fase y para la visualización de defectos.
- Determinación de estructuras cristalinas.
- Realizar ejercicios de las operaciones de simetría.
- Investigación sobre prácticas emergentes relacionando cristalografía con propiedades de diversos materiales.
- Investigación documental sobre el desarrollo de los nuevos materiales.
- Visitas a Industrias o Centros de Investigación.
- Sesiones de resolución de problemas mediante el trabajo en equipo con entrega de reporte individual.
- Investigación experimental sobre recuperación, recristalización y crecimiento de grano.
- Consulta en diversas fuentes de información científica sobre temas de actualidad que involucren los conceptos analizados en el curso.
- Promover la asistencia a seminarios y congresos en el campo de los materiales.

8.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

- Aplicar exámenes escritos y orales
- Participación individual y en grupo activa durante el curso
- Reportes de practicas de laboratorio
- Reportes de las visitas a Industrias y Centros de Investigación
- Presentación de seminarios
- Tareas

9.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1.- Estructura cristalina I

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
El estudiante comprenderá los conceptos de estructura cristalina. Diferenciara los diferentes sistemas cristalinos con sus características	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer y analizar los conceptos estructurales y los tipos de estructuras atómicas de los materiales • Aplicar las reglas de indexación de planos utilizando los índices de Miller para cristales cúbicos y hexagonales. • Explicar la importancia de los ordenamientos de corto y largo alcance en los átomos de la estructura 	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 26, 28, 32

<p>principales y,</p> <p>Aprenderá a indexar planos y direcciones.</p>	<p>alcance en los átomos de la estructura de los materiales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la estructura molecular de los materiales no cristalinos. • Hacer ejercicios de determinación de factor de empaquetamiento para los sistemas cúbicos y hexagonales. • Realizar cálculos de densidades lineales y planares para los diferentes sistemas cristalinos • Calcular distancias interplanares y ángulos entre planos. • Analizar y discutir el concepto de anisotropía y polimorfismo. 	
--	---	--

Unidad 2.- Estructura cristalina II

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
<p>Comprenderá el fundamento de la proyección estereográfica para poder interpretar estereogramas.</p> <p>Entenderá el concepto de simetría y aprenderá a usar las diferentes notaciones, el concepto de red recíproca y el principio de funcionamiento de un tubo de rayos x.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar operaciones de simetría en figuras bidimensionales. • Interpretar fichas cristalográficas. • Analizar las proyecciones estereográficas de los planos y direcciones cristalográficas en dos dimensiones. • Análisis de la red de Wulff para la medición gráfica de ángulos entre planos y direcciones cristalográficas en dos dimensiones. • Analizar el efecto de los rayos X al incidir sobre una estructura cristalina y determinar la interferencia constructiva y destructiva de los rayos reflejados de un plano atómico. • Analizar y determinar la Ley de Bragg, así como la aplicación de ésta en la solución de algunos problemas. • Realizar cálculos de distancias interplanares utilizando la ley de Bragg. • Indexar difractogramas de Rx. • Utilizar software para la construcción de redes cristalinas a partir de datos 	<p>2, 3, 5, 7, 32</p>

	<p>cristalográficos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar software de indexación de patrones de difracción de Rx • Calcular vectores de base de la red recíproca y dimensiones. 	
--	--	--

Unidad 3.- Propiedades físicas de los materiales

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
<p>Establecerá los conceptos necesarios que permitan comprender y analizar la relación directa que existe entre la teoría estructural y electrónica de los materiales y sus propiedades físicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar la ecuación de Shrodinger al análisis de las estructuras • Analizar el movimiento de los electrones de un cristal • Explicar como el predominio de un tipo de enlace determina el comportamiento eléctrico, magnético, térmico de los materiales. • Analizar la naturaleza doble de la materia • Explicar el principio de incertidumbre de Heisenberg • Construir los diagramas de bandas para un conductor, semiconductor y aislante • Calcular conductividades, densidades electrónicas, resistividades, bandas de vacío y energiza de Fermi. • Analizar en el grupo los conceptos de semicondución intrínseca y extrínseca, comportamiento dieléctrico, ferro eléctrico y piezoeléctrico. • Analizar el comportamiento de los diferentes tipos de materiales magnéticos • Teniendo como base la teoría de bandas, explicar el comportamiento óptico y térmico de los materiales. • Discutir los conceptos de refracción, reflexión, difracción, absorción opacidad, translucencia, luminiscencia y fotoconductividad • Analizar el comportamiento de las 	<p>4, 7, 8, 16, 17, 18, 27, 28</p>

	fibras ópticas y de láser <ul style="list-style-type: none"> Realizar cálculos de capacidad calorífica y térmica, expansión térmica y resistencia al choque térmico. 	
--	---	--

Unidad 4.- Defectos estructurales

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
Conocerá los diferentes tipos de defectos estructurales que se presentan en los materiales y su relación con las propiedades mecánicas.	<ul style="list-style-type: none"> Analizar la teoría de vacancias, su dependencia térmica y el efecto sobre las propiedades de los materiales Analizar el efecto de los átomos intersticiales sobre las propiedades de los materiales Calcular la concentración de vacancias y de intersticiales Analizar la teoría de dislocaciones, clasificación, multiplicación, movimiento y reacción entre dislocaciones. Analizar la reacción de las dislocaciones con los defectos puntuales y superficiales Relacionar el movimiento de las dislocaciones con el comportamiento plástico del material. Discutir el concepto de Esfuerzo Crítico de corte y la deformación en el sólido. Realizar cálculos de las magnitudes de los vectores de Burgers y densidad de dislocaciones. Analizar el efecto de las fallas de apilamiento y maclas sobre las propiedades de dos materiales Efecto sobre las propiedades de los metales de los límites de grano y tamaño de grano Discutir los diferentes tipos de soluciones sólidas Calcular el tamaño de los sitios octaédricos y tetraédricos. 	1, 3, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 24, 27, 28

Unidad 5.- Difusión

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
Entenderá los mecanismos que rigen el proceso de difusión en los sólidos, leyes establecidas y factores que intervienen.	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar los diferentes mecanismos de difusión, y seleccionar cual de ellos es el más viable desde el punto de vista energético y geométrico. • Comentar por equipos las leyes que rigen el movimiento de los átomos. • Examinar en el grupo los conceptos de coeficiente de difusión, factor de frecuencia y energía de activación • Investigar y discutir el concepto de gradiente de concentración • Aplicar la primera ley de Fick a la solución de problemas • Analizar las limitaciones de la primera ley de Fick • Discutir las diferentes soluciones de la segunda ley de Fick y aplicarla a la solución de problemas • Calcular coeficientes de difusión a diferentes temperaturas. • Calcular energías de activación • Discutir la influencia de la temperatura y del tiempo en los procesos difusivos • Analizar los resultados obtenidos en la aplicación de las Leyes para diagnosticar el comportamiento térmico de los materiales. 	1, 2, 3, 8, 15, 16, 19, 20 24, 25, 26, 27, 28

Unidad 6.- Mecanismos de Endurecimiento

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
Analizar los diferentes mecanismos mediante los cuales se produce el endurecimiento de los materiales estableciendo el efecto que tienen	<ul style="list-style-type: none"> • Diferenciar los diferentes mecanismos de endurecimiento. • Utilizar la ecuación de Hall – Petch para el cálculo de esfuerzos de cedencia. • Calcular el porcentaje de trabajado en frío para diferentes geometrías y discutir su influencia en el 	1, 5, 8,

sobre sus propiedades.	<p>endurecimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer las condiciones necesarias para que ocurra el endurecimiento por trabajado en frío, como se almacena la energía empleada para la deformación y el efecto observado sobre las propiedades de los materiales. • Analizar el efecto estructural que tienen los asomos de soluto sobre las propiedades de los materiales y su grado de reforzamiento. • Establecer el efecto del tiempo de solidificación sobre el tamaño de los cristales y sus efectos sobre las propiedades de los materiales. • Establecer los mecanismos de las transformaciones de fase y su efecto sobre las estructuras y propiedades de los materiales. 	
------------------------	---	--

Unidad 7.- Recuperación, recristalización y crecimiento de grano

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
<p>Analizará los mecanismos mediante los cuales los metales y aleaciones almacenan energía durante la deformación plástica, así como los cambios que se llevan a cabo durante el recocido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir las transformaciones que ocurren durante la deformación plástica de los materiales. • Definir los mecanismos de almacenaje de energía de deformación. • Identificar los métodos para medir la energía almacenada durante su liberación. • Asociar las etapas que se presentan durante la liberación de la energía con los mecanismos que se suceden a nivel atómico. • Analizar las diferentes etapas del recocido. • Entender los cambios que se llevan a cabo durante la recuperación y la recristalización. • Determinar la fuerza motriz para cada etapa del recocido. 	<p>1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir las leyes de la Recristalización • Analizar la Recristalización como un proceso de nucleación y crecimiento. • Calcular el tamaño de grano final después del proceso de recristalización. • Encontrar otros ejemplos de transformaciones que ocurran por nucleación y crecimiento. 	
--	--	--

10.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Hassen, P. *Physical Metallurgy*. Cambridge University Press, 1978.
2. Reed – Hill Robert. *Principios de Metalurgia Física*. CECSA, 2ª. Edición.
3. Verhoeven, John D., J. D. *Fundamentos de Metalurgia Física*. Limusa
4. William G. Et Al. *Ciencia de los Materiales*. Limusa.
5. Guy, A. G. *Metalurgia Física para Ingenieros*. Fondo Educativo Interamericano, 1970.
6. Avner, Sydney H. *Introducción a la Metalurgia Física*. McGraw – Hill, 1987.
7. Chalmers, Bruce. *Metalurgia Física*. Edición Aguilar
8. Cahn, R. W. *Physical Metallurgy*. North Holland Publisdhing, 1984.
9. Cullity, B. D. *Elements of X – Ray Diffraction*. Addison – Wesley, 1976
10. Woolfson, M. M. *An Introduction to X – Ray Crystallography*. Cambridge University Press, 1978.
11. Kovacs, T. *Principles of X – Ray Metallurgy*. Iliffe Book LTD.
12. Heimendahl, Von, M. *Electron Microscopy of Materials*. Academic Press
13. Barret, C. H. *Estructura de los Metales*. Aguilar
14. Dieter, G. E. *Metalurgia Mecánica*. Ed. John Wiley & Sons.
15. Swalin, R. A. *Thermodynamics of Solids*. John Wiley & Sons
16. Kittel, C. H. *Introduction to Solid State Physics*. John Wiley & Sons

17. Shewmon, P. G. *Transformation in Metals*. McGraw – Hill.
18. Porter, D. A. & K. E. Easterling *Phase Transformation in Metals and Alloys*. Van Nostrand Reinhold.
19. Shewmon, P. G. *Diffusion*. McGraw – Hill.
20. Burke, J. *The Kinetics of Phase Transformation in Metals*. Pergamon Press.
21. Christian, J. W. *The Theory of Transformation in Metals and Alloys*. Pergamon Press.
22. Riedderer – Verlag – F., Haessner *Recrystallization of Metallic Materials*. GMBH.
23. Himmel, L. *Recovery and Recrystallization of Metals*. Gordon and Breach.
24. Smith, William F. *Fundamento de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. McGraw – Hill, 1998.
25. Pavlov, P. V., Jojlov, A. F. *Física del Estado Sólido*. MIR Moscú, 1987.
26. Thornton, Peter A., Colangelo, Vito J. *Ciencia de Materiales Para Ingeniería*. Prentice – Hall, 1987.
27. Shackelford, J. F. *Ciencia de Materiales para Ingenieros*. Prentice – Hall, 1995.
28. Askeland, Donald R. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Internacional Thomson.
29. Gaskell, David R. *Introduction to Metallurgical Thermodynamics*. McGraw – Hill, 1973.
30. Mckelvey, J. P. *Física del Estado Sólido y de Semiconductores*. LIMUSA, 1991.
31. Gulíáev, A. P. *Metalografía Tomo I y II*. MIR, 1983.
32. Flint, E. *Principios de Cristalografía*. Moscú: Paz.
33. Yacamán, José Miguel, Reyes, José. *Microscopía Electrónica: Una Visión del Microcosmo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Fondo de Cultura Económica, 1995.
34. Callister, W. D. Jr. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley & Sons.

35. Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, Warner. *The Science and Design of Engineering Materials*. McGraw – Hill, 1999.
36. Hammond, C., *The Basics Of Crystallography and Diffraction*. Oxford Science Publications.
37. Dieter, G. E. *Mechanical Metallurgy*. Metric Editions, *Materials Science and Metallurgy*.

11.- PRÁCTICAS

- 1 Determinación de los planos y direcciones utilizando la proyección estereográfica.
- 2 Determinación de la estructura cristalina por difracción de Rayos X.
- 3 Preparación de muestras metalográficas.
- 4 Análisis microestructural de materiales deformados.
- 5 Análisis microestructural de materiales deformados.
- 6 Realizar un tratamiento térmico de recocido y observar la estructura resultante.