

### 1. Datos Generales de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura:</b>	Caracterización de Materiales
<b>Clave de la asignatura:</b>	NAF-0903
<b>SATCA<sup>1</sup>:</b>	3-2-5
<b>Carrera:</b>	Ingeniería en Nanotecnología

### 2. Presentación

#### Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero en Nanotecnología la capacidad de seleccionar una técnica analítica dependiendo de la naturaleza de la muestra para determinar las características estructurales de materiales y nanomateriales mediante diversas técnicas instrumentales, con el fin de relacionar la estructura con sus propiedades. La investigación de la estructura interna de un material de ingeniería es frecuentemente de importancia crítica. Este curso proporciona al estudiante los principios teóricos y metodológicos de las técnicas: difracción de rayos X, microscopias óptica y electrónica, y calorimetrías, para obtener información estructural cualitativa y cuantitativa de una muestra. Asimismo, la caracterización de un material es de gran ayuda para inferir su comportamiento químico, físico y/o biológico, y como consecuencia, diseñar un sistema de ingeniería o manufacturar sus componentes.

Esta materia se relaciona con otras asignaturas impartidas en semestres anteriores como: Ciencia e Ingeniería de los Materiales, en los temas Importancia y Clasificación de los Materiales; con Análisis Instrumental, en los temas Generalidades del análisis instrumental y Métodos espectrofotométricos; con Química Inorgánica se relaciona en el tema Teoría cuántica y estructura atómica. En semestres posteriores con Síntesis de Nanomateriales, donde el alumno es capaz de sintetizar Nanomateriales y con ayuda de los contenidos de esta asignatura, es capaz de caracterizarlos.

#### Intención didáctica

Se organiza el temario, en seis temas, tratando en los primeros cinco un tipo de técnica por tema, dejando el último tema para algunas otras técnicas analíticas importantes dentro de la caracterización de los materiales.

Se busca en un principio introducir al estudiante al área de caracterización de materiales en forma general, y a partir de ahí, se presentan cada una de las técnicas incluidas disponibles en la actualidad para obtener información importante acerca de la estructura de un material.

La idea es mostrar las herramientas con las que cuenta el estudiante para caracterizar materiales y que finalmente sea capaz de elegir la técnica adecuada para analizar un determinado material, esto con base en el tipo de material y a la información que se

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

requiere del mismo.

Se sugieren actividades para hacer más significativo el aprendizaje. Algunas de estas pueden realizarse como actividades previas a la clase y, una vez en ella, comenzar la discusión a partir de los resultados de las investigaciones documentales u observaciones.

El docente realiza presentaciones mediante proyector y analiza diferentes resultados obtenidos mediante diferentes técnicas de caracterización, resaltando la relevancia de cada una de ellas respecto a la información que proporcionan.

Al final de los temas, el docente propone un proyecto de asignatura donde se integran las competencias aportadas por los temas en la formación del alumno, actividad que le permite al alumno constatar la aportación de la asignatura en su perfil de egreso como ingeniero en nanotecnología.

### 3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez del 27 al 29 de Abril de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Tijuana, Querétaro, Celaya, Saltillo, Ciudad Juárez, Superior de Irapuato, San Luis Potosí, Chihuahua.	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.
Instituto Tecnológico de Puebla del 8 al 12 de Junio de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Tijuana, Querétaro, Celaya, Saltillo, Ciudad Juárez, Superior de Irapuato, San Luis Potosí, Chihuahua.	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.
Instituto Tecnológico de Mazatlán del 23 al 27 de Noviembre de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Tijuana, Querétaro, Ciudad Juárez, Superior de Irapuato, San Luis Potosí, Chihuahua.	Reunión de seguimiento de diseño e innovación curricular para el desarrollo de competencias profesionales de la carrera de Ing. en Nanotecnología, del SNEST.

<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**

<p><b>Competencia(s) específica(s) de la asignatura</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprende los fundamentos de diferentes técnicas de caracterización de la microestructura y nanoestructura, y las propiedades físicas de los materiales, así como los fenómenos físicos involucrados para su aplicación.</li> <li>• Interpreta y aplica la información obtenida de los materiales de manera concisa para su caracterización.</li> </ul>

**5. Competencias previas**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprende los conceptos de la teoría cuántica y de la estructura atómica, tomando como referencia las bases experimentales y los descubrimientos más significativos que contribuyeron a la construcción de la estructura electrónica de los átomos.</li> <li>• Comprende la importancia de los materiales en el desarrollo de la ciencia y la tecnología.</li> <li>• Comprende los grupos de materiales existentes y su clasificación con base en sus características.</li> <li>• Comprende la diferencia entre material amorfo y cristalino.</li> <li>• Analiza los tipos de estructura cristalina y la diferencia entre los diferentes tipos de celda, así como diferentes conceptos que involucran la distribución y empaquetamiento de átomos en la celda y en la red.</li> <li>• Comprende los principios generales de la absorción de la radiación electromagnética y espectrometría de masas y los aplica como métodos analíticos para la identificación de sustancias y cuantificación de las mismas en trabajos de investigación, resolución de problemas y toma de decisiones.</li> </ul>
--

## 6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Microscopia óptica	1.1 Principios básicos de formación de imágenes. 1.2 Partes y funcionamiento del microscopio óptico. 1.3 Métodos de iluminación. 1.4 Preparación de muestras. 1.5 Interpretación de microestructuras. 1.6 Fotomicrografía. 1.7 Analizador de imágenes
2	Difracción de Rayos X	2.1 Naturaleza de los rayos X. 2.2 Fundamentos de generación de rayos X. 2.3 Ley de Bragg. 2.4 Factor de estructura. 2.5 Propiedades coligativas. 2.6 Técnicas de difracción de rayos X. 2.7 Patrón de difracción de rayos X. 2.8 Método de Rietveld.
3	Microscopia electrónica de transmisión	3.1 Descripción y principio de Funcionamiento. 3.2 Partes fundamentales del MET. 3.3 Técnicas de preparación de muestras. 3.4 Poder de resolución. 3.5 Formación de imágenes. 3.6 Formación del patrón de difracción. 3.7 Reglas de indexación. 3.8 Teoría cinemática. 3.9 Teoría dinámica. 3.10 Espectroscopia de pérdida de energía del electrón.
4	Microscopia electrónica de barrido	4.1 Espectroscopia de dispersión de energía. 4.2 Descripción y principio de Funcionamiento. 4.3 Fenómenos físicos involucrados. 4.4 Interpretación de las imágenes. 4.5 Preparación de muestras. 4.6 Microanálisis por Dispersión de Energía (EDS). 4.7 Microanálisis por Dispersión de Longitud de Onda (WDS).

5	Análisis Térmico	5.1 Descripción y principio del funcionamiento del análisis térmico diferencial y termogravimétrico. 5.2 Fenómenos físicos involucrados. 5.3 Tratamiento e interpretación de los datos. 5.4 Dilatometría. 5.5 Calorimetría diferencial de barrido. 5.6 Análisis Dinámico Mecánico.
6	Otras técnicas	6.1 Microscopia de Fuerza Atómica (AFM). 6.2 Microscopia de Efecto Túnel. 6.3 Potencial Z.

**7. Actividades de aprendizaje de los temas**

<b>1. Microscopia Óptica</b>	
<b>Competencias</b>	<b>Actividades de aprendizaje</b>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conoce los componentes, principios y aplicaciones de la microscopía óptica para distinguir los tipos de muestras que puede caracterizar.</li> <li>• Utiliza el microscopio óptico para caracterizar diferentes materiales.</li> </ul> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimientos generales básicos.</li> <li>• Conocimientos básicos de la carrera.</li> <li>• Capacidad de análisis y síntesis.</li> <li>• Trabajo en equipo.</li> <li>• Capacidad de aprender.</li> <li>• Habilidades de investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultar y discutir los principios que rigen la formación de imágenes en el ojo humano, en lentes simples y compuestas para la caracterización de la imagen formada.</li> <li>• Calcular y comparar los aumentos en lente simples y en el microscopio óptico.</li> <li>• Discutir y diferenciar los conceptos de: distancia focal, eje óptico, rayos focales y rayos paralelos.</li> <li>• Identificar en el microscopio todas sus partes fundamentales.</li> <li>• Investigar la longitud de onda de filtros de diferentes colores y calcular el poder de resolución.</li> <li>• Seleccionar el tipo de objetivo y oculares para realizar observaciones con bajos y altos aumentos.</li> <li>• Observar la profundidad de foco de objetivos diferentes.</li> <li>• Realizar prácticas de calibración de aumentos a través del microscopio en micrómetro objeto.</li> <li>• Observar los efectos de abrir y cerrar los diafragmas de campo y apertura sobre la imagen producida.</li> <li>• Operar el microscopio para enfocarlo correctamente.</li> <li>• Utilizar el desenfoque para observar</li> </ul>

	<p>pequeños detalles en la muestra.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer en práctica el manejo del microscopio en condiciones de iluminación de campo claro.</li> </ul>
<b>2. Difracción de Rayos X</b>	
<b>Competencias</b>	<b>Actividades de aprendizaje</b>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplica la técnica de difracción de rayos X para conocer el arreglo cristalino de materiales y nanomateriales.</li> </ul> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimientos generales básicos.</li> <li>• Conocimientos básicos de la carrera.</li> <li>• Capacidad de análisis y síntesis.</li> <li>• Trabajo en equipo.</li> <li>• Capacidad de aprender.</li> <li>• Habilidades de investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultar y discutir sobre la clasificación y características de las radiaciones en función de la longitud de onda.</li> <li>• Analizar la interacción de los rayos X con la materia.</li> <li>• Discutir el fundamento del espectro de rayos X.</li> <li>• Investigar y discutir la generación de rayos X.</li> <li>• Analizar la demostración general de la Ley de Bragg y su significado físico.</li> <li>• Describir el efecto del contenido atómico de los cristales en la difracción de rayos X a través del factor de estructura.</li> <li>• Calcular y comparar las condiciones de extinción específica.</li> <li>• Discutir los principios de utilización de las técnicas de Laue y Debye-Scherrer.</li> <li>• Identificar en el espectrómetro de rayos X, sus partes fundamentales.</li> <li>• Interpretar los patrones de difracción.</li> <li>• Aplicar técnica de difracción de los rayos X en los materiales condensados.</li> <li>• Realizar prácticas de indexación de patrones de difracción.</li> <li>• Contrastar resultados utilizando software de difracción.</li> <li>• Investigar y discutir la aplicación de cuantificación de fases por el método de Rietveld.</li> </ul>
<b>3. Microscopia Electrónica de Transmisión</b>	
<b>Competencias</b>	<b>Actividades de aprendizaje</b>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplica los principios de funcionamiento, de formación de la imagen y del patrón de difracción para el estudio de la</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultar y discutir los principios básicos del MET.</li> <li>• Consultar sobre los principios de formación de patrones de difracción e</li> </ul>

<p>estructura de diferentes materiales y nanomateriales mediante el uso del microscopio electrónico de transmisión MET.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimientos generales básicos.</li> <li>• Conocimientos básicos de la carrera.</li> <li>• Capacidad de análisis y síntesis.</li> <li>• Trabajo en equipo.</li> <li>• Capacidad de aprender.</li> <li>• Habilidades de investigación.</li> </ul>	<p>imágenes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparar la formación de imágenes en campo claro y en campo oscuro.</li> <li>• Analizar la difracción de electrones en el MET, de muestras cristalinas.</li> <li>• Consultar y discutir sobre los diferentes tipos de patrones de difracción, en muestras cristalinas y semicristalinas.</li> <li>• Analizar el contraste dinámico de los defectos cristalinos.</li> <li>• Aplicar las técnicas para la preparación de muestras para el MET.</li> <li>• Aplicar la metodología en la caracterización estructural e identificar los defectos de estructura.</li> <li>• Utilizar software para la indexación de patrones de difracción.</li> </ul>
<p><b>3. Microscopia electrónica de barrido</b></p>	
<p><b>Competencias</b></p>	<p><b>Actividades de aprendizaje</b></p>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprende los principios del funcionamiento del microscopio electrónico de barrido (MEB), la formación e interpretación de las imágenes y el microanálisis para su aplicación en el estudio de los materiales.</li> </ul> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimientos generales básicos.</li> <li>• Conocimientos básicos de la carrera.</li> <li>• Capacidad de análisis y síntesis.</li> <li>• Trabajo en equipo.</li> <li>• Capacidad de aprender.</li> <li>• Habilidades de investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicar la generación de electrones secundarios y retrodispersados, así como, los diferentes fenómenos ocasionados al interactuar el haz de electrones primarios con la muestra.</li> <li>• Identificar el funcionamiento de cada una de las partes que constituyen el MEB.</li> <li>• Identificar las imágenes obtenidas por los diferentes modos de operación del microscopio.</li> <li>• Preparar muestras de diferentes tipos de materiales para su análisis en el MEB.</li> <li>• Describir los principios del funcionamiento de los espectrómetros de dispersión de longitud de onda y de energía de los rayos X.</li> <li>• Interpretar los diferentes tipos de microanálisis cualitativo y cuantitativo.</li> <li>• Discutir los alcances y limitaciones del MEB.</li> </ul>

<b>3. Análisis Térmico</b>	
<b>Competencias</b>	<b>Actividades de aprendizaje</b>
<p><b>Específica(s):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Comprende el principio de los fenómenos que rigen el análisis térmico y su aplicación para la caracterización de materiales y/o nanomateriales.</li> </ul> <p><b>Genéricas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conocimientos generales básicos.</li> <li>Conocimientos básicos de la carrera.</li> <li>Capacidad de análisis y síntesis.</li> <li>Trabajo en equipo.</li> <li>Capacidad de aprender.</li> <li>Habilidades de investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar los componentes de un equipo de análisis térmico.</li> <li>Discutir los principios del análisis térmico, su definición y los parámetros involucrados en las diferentes técnicas a partir de la investigación previa.</li> <li>Identificar las diferencias entre las técnicas de análisis térmicos.</li> <li>Interpretar los fenómenos físicos y químicos involucrados en las diferentes técnicas de análisis térmico.</li> <li>Obtener e interpretar termogramas.</li> <li>Identificar los componentes de un equipo de análisis dinámico mecánico (DMA).</li> <li>Analizar los principios de la técnica de DMA.</li> <li>Interpretar los resultados de un DMA.</li> </ul>
<b>4. Otras Técnicas</b>	
<b>Competencias</b>	<b>Actividades de aprendizaje</b>
<p><b>Específica(s):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conoce otras técnicas que se utilizan para caracterizar estructuralmente los materiales.</li> </ul> <p><b>Genéricas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conocimientos generales básicos.</li> <li>Conocimientos básicos de la carrera.</li> <li>Trabajo en equipo.</li> <li>Capacidad de aprender.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conocer los fundamentos y alcances de las técnicas novedosas de caracterización estructural.</li> <li>Discutir las aplicaciones de las técnicas de: microscopia de fuerza atómica, microscopia de efecto túnel y potencial zeta.</li> </ul>

**8. Práctica(s)**

<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación del microscopio óptico.</li> <li>Preparación de muestras por diferentes técnicas.</li> <li>Interpretación de microestructuras.</li> <li>Metalografía cuantitativa utilizando el analizador de imágenes.</li> <li>Identificación de fases cristalinas mediante por difracción de rayos X.</li> <li>Observación e interpretación de imágenes en el microscopio electrónico de barrido.</li> <li>Realización e interpretación del microanálisis cuantitativo utilizando el microscopio electrónico de barrido.</li> <li>Preparación de muestras para el microscopio electrónico de transmisión.</li> <li>Obtención de imágenes y patrones de difracción en el MET.</li> </ul>
---

- Determinación de puntos de transformación por análisis térmico y dilatometría.

### 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

Se recomienda que la evaluación de la asignatura se haga con base en el siguiente desempeño:

- Reporte oral y escrito de consultas en distintas fuentes de información.
- Rúbrica en trabajos escritos.
- Participación en sesiones grupales para la discusión de temas.
- Asistencia a pláticas y conferencias en las que participen profesionales.
- Reporte de prácticas de laboratorio.
- Entrega de portafolios de evidencias.
- Participación en aula en el análisis de información experimental obtenida en el laboratorio.
- Exposiciones de temas.
- Resultados de exámenes orales y escritos de conocimientos al finalizar cada tema.

Se recomienda verificar el nivel de logro competencias del estudiante mediante:

- Cotejo de su avance respecto a las competencias específicas por tema y del desarrollo de sus actividades de aprendizaje.
- Actividades de co-evaluación, autoevaluación y hetero-evaluación.

## 11. Fuentes de información

1. Kehl, G. L. (1963). *Fundamentos de la Práctica Metalográfica*. España, Aguilar.
2. Gifkins, R.C. (1970). *Optical Microscopy of Metals*. U.S.A. Elsevier.
3. Van Der Voort. (1984). *Metallographic Principles*. U.S.A., ASM International.
4. ASM.(2000). *Metals Hand Book Vol. 8*. U.S.A., ASM International
5. Redd Hill, R. Principios de Metalurgia Física.
6. Samuels, Leonard. *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*. ASTM.
7. Verhoven, J. D. *Fundamentos de Metalurgia Física*. Limusa.
8. Huking, D. W. *X-Ray Diffraction by Disordered and Ordered Systems*. Pergamon Press.
9. Cullyti Bernard. *X-Ray Diffraction*. McGraw-Hill.
10. Goldstein, G. *Practical Scanning Electron Microscopy*. Plenum Press.
11. ASM. *Metals Handbook Vol. 9*. ASM.
12. Datley. C. W. *The Scanning Electron Microscopy*. Cambridge University Press.
13. Glavert, A. M. *Practical Methods in Electron Microscopy Vol. 1*.
14. Hall, C. E. *Introduction to Electron Microscopy*. McGraw-Hill.
15. Proyecto Multinacional de Tecnología de Materiales. Interpretación de Imágenes en Microscopía Electrónica de Barrido. Buenos Aires, Argentina.
16. Zworkyn, V. K. et. al. *Electron Optics and The Electron Microscopy*. John Wiley & Sons.
17. Hirsh, P. B. *Electron Microscopy of Crystals*. Butterworths.
18. Brooker, G. R., Amelincks. *Modern Diffraction and Techniques in Materials Science*. Scanning Electron Microscopy. North Holland.
19. Chaussin Hilly, G. C. *Curso Básico de Metalurgia Física*. Montesó Editor.
20. Phelps, G. W., Maguire, S. G., Kelly, W. J. y Wood, R. K. *Rheology and Rheometry of Clay – Water Systems*. Rutgers University.
21. Reed, J. S. (1995). *Introduction to the Principles of Ceramics Processing*. U:S.A. John Wiley & Sons.
22. Gaskell, David R. (2012). *An Introduction to Transport Phenomena in Materials Engineering*. E.U.A. Macmillan Publishing Company.
23. Bird, R. B., Stewart, W. E., Lighthfoot, E. N. (2006). *Fenómenos de Transporte*. México, Reverté.
24. Bhanu, P., Jena and Heinrich Horber, J. K. *Atomic Force Microscopy in Cell Biology*. Academic Press.
25. Coehen, Samuel H. and Bray, Mona T. *Atomic Force Microscopy: Scanning Tunneling Microscopy*. Kluwer Academic Press.
26. Zhang, S.; Li, L.; Kumar, A. (2008). *Materials Characterization Techniques*. CRC Press, Taylor and Francis Group.
27. Leng, Y. (2008). *Materials Characterization*. U.S.A., John Wiley & Sons.