



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**  
**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

*FORMATO GUIA PARA REGISTRO DE ASIGNATURAS*

Hoja 1 de 8

### I. DATOS DEL PROGRAMA Y LA ASIGNATURA

1.1 NOMBRE DEL PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS FÍSICOMATEMÁTICAS

1.2 COORDINADOR DEL PROGRAMA: DR. JORGE RICARDO AGUILAR HERNÁNDEZ

1.3 NOMBRE DE LA ASIGNATURA: MICROSCOPIA ELECTRÓNICA APLICADA

1.4 CLAVE: 09A5602 (Para ser llenado por la CGPI)

1.5 TIPO DE ASIGNATURA:

OBLIGATORIA	<input type="checkbox"/>	OPTATIVA	<input checked="" type="checkbox"/>
SEMINARIO	<input type="checkbox"/>	ESTANCIA	<input type="checkbox"/>

1.6 NUMERO DE HORAS:

TEORIA	<input type="checkbox"/>	PRACTICA	<input type="checkbox"/>	T-P	<input type="text" value="6"/>
--------	--------------------------	----------	--------------------------	-----	--------------------------------

1.7 UNIDADES DE CREDITO:

1.8 FECHA DE LA ELABORACION DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA:

	03	07	07
--	----	----	----

1.9 SESION DEL COLEGIO DE PROFESORES EN QUE SE ACORDO LA IMPLANTACION DE LA ASIGNATURA:

	SESION No. 06	FECHA: 22 05 07 d m a
--	---------------	--------------------------

1.10 FECHA DE REGISTRO EN CGPI:    (Para ser llenado por la CGPI)

### II. DATOS DEL PERSONAL ACADEMICO

2.1 COORD. ASIGNATURA: HECTOR ALFREDO CALDERON BENAVIDES CLAVE: \_\_\_\_\_

2.2 PROFR. PARTICIPANTE: \_\_\_\_\_ CLAVE: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ CLAVE: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ CLAVE: \_\_\_\_\_

### III. DESCRIPCION DEL CONTENIDO DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

#### III.1 OBJETIVO GENERAL:

Que el estudiante aprenda los principios de formación de imágenes en el microscopio electrónico de transmisión a través del estudio de la interacción de electrones con la materia y el funcionamiento del conjunto de lentes que integran dicho instrumento. A partir de este conocimiento será posible interpretar y simular imágenes con parámetros y paquetes de software apropiados. El uso de dichos paquetes requiere de una calibración exacta del instrumento y de la medición de parámetros de funcionamiento a los cuales el estudiante tendrá acceso a través de los conocimientos impartidos en el curso. Asimismo se proporcionarán las bases de métodos analíticos para determinar la composición de volúmenes microscópicos a través de señales generadas como resultado de la interacción de los electrones con los sólidos p.ej. rayos x característicos y electrones dispersados inelásticamente. Se usarán ejemplos con una aplicación directa en la caracterización de nanoestructuras para los más variados fines prácticos.

#### III.2 DESCRIPCION DEL CONTENIDO

TEMAS Y SUBTEMAS	TIEMPO
<b>1. Introducción a la Microscopia electrónica de transmisión.</b>	4
1.1 Historia de la microscopia electrónica de transmisión.	
1.2 Desarrollo de los microscopios electrónicos de transmisión.	
1.3 Microscopía y el uso de electrones.	
1.4 Interacción de los electrones con la materia.	
1.5 Profundidad de campo	
1.6 Difracción	
<b>2. Limitaciones del MET.</b>	4
2.1 Muestreo.	
2.2 Interpretación de las imágenes de transmisión.	
2.3 Daño por el haz electrónico y seguridad.	
2.4 Preparación de muestras.	
2.5 Propiedades fundamentales del electrón.	

<b>3. Optica y lentes.</b>	4
3.1 Optica geométrica.	
3.2 Lentes electrostáticas.	
3.3 Lentes magnéticas.	
3.4 Aberraciones de las lentes y defectos.	
<b>4. Componentes del microscopio electrónico de transmisión.</b>	4
4.1 El microscopio electrónico	
4.2 Cañón de electrones.	
4.3 Sistema condensador.	
4.4. Formación de imágenes.	
4.5 Detección de electrones y grabado de imágenes.	
<b>5. Principios de formación de imagen.</b>	4
5.1 Introducción.	
5.2 Difracción e imagen.	
5.3 Dispersión y difracción.	
5.4 Dispersión elástica.	
5.5 Muestras delgadas débilmente dispersoras.	
5.6 Muestras delgadas fuertemente dispersoras.	
5.7 Objetos periódicos delgados: cristales.	
5.8 Cristales gruesos y muy gruesos	
<b>6. Dispersión elástica.</b>	4
6.1 Partículas y ondas.	
6.2 Mecanismos de dispersión elástica.	
6.3 Dispersión a partir de átomos aislados.	
6.4 La sección transversal de Rutherford y sus modificaciones.	
6.5 Coherencia de los electrones dispersados.	
6.6 El factor de dispersión atómica.	
6.7 El factor estructural.	
6.8 Conceptos de difracción.	
<b>7. Dispersión inelástica y daño del haz.</b>	4
7.1 Procesos inelásticos en el MET.	
7.2 Emisión de rayos x.	
7.3 Emisión de electrones secundarios.	
7.4 Daño del haz.	

<b>8. Preparación de muestras.</b>	4
8.1 Prepración de laminillas delgadas.	
8.2 Muestras sobre rejillas.	
8.3 Réplicas.	
<b>9. Patrones de difracción</b>	5
9.1 Uso de la difracción en el MET.	
9.2 Dispersión de un plano de átomos.	
9.3 Dispersión a partir de un cristal.	
9.4 Significado de n en la Ley de Bragg.	
9.5 Introducción a efectos dinámicos.	
9.6 Uso de índices en patrones de difracción.	
9.7 Formación de patrones de difracción.	
<b>10. Espacio recíproco.</b>	4
10.1 Definición	
10.2 Definición matemática.	
10.3 El vector g.	
10.4 Las ecuaciones de Laue y su relación a la Ley de Bragg.	
10.5 La esfera de reflexión de Ewald.	
10.6 El error de excitación s.	
10.7 El efecto del voltaje de aceleración.	
<b>11. Indexación de patrones de difracción.</b>	5
11.1 Técnicas experimentales.	
11.2 La proyección estereográfica.	
11.3 Indexación de patrones de difracción de cristales simples.	
11.4 Patrones de anillos de materiales policristalinos.	
11.5 Patrones de anillos de materiales amorfos.	
11.6 Doble difracción.	
11.7 Orientación de la muestra.	
11.8 Relaciones de Orientación.	
11.9 Análisis de computadora.	
<b>12. Difracción de Kikuchi</b>	4
12.1 Origen de las líneas de Kikuchi.	
12.2 Líneas de Kikuchi y dispersión de Bragg.	
12.3 Construcción de mapas de Kikuchi.	

12.4 Orientación de cristal y líneas de Kikuchi.	
12.5 Valor de $s_g$ .	
<b>13. Haces difractados.</b>	<b>4</b>
13.1 Cálculo de las intensidades.	
13.2 El método.	
13.3 La amplitud de un haz difractado.	
13.4 La longitud característica $g$ .	
13.5 Las ecuaciones de Howie-Whelan.	
13.6 Reformulación de las ecuaciones de Howie-Whelan.	
13.7 Solución de las ecuaciones de Howie-Whelan.	
13.8 La importancia de $(1)$ y $(2)$ .	
13.9 La amplitud de onda total.	
13.10 El error de excitación efectivo.	
13.11 La aproximación de columna.	
13.12 Las aproximaciones y simplificaciones.	
13.13 La analogía del oscilador armónico acoplado.	
<b>14. Difracción en cristales.</b>	<b>4</b>
14.1 Repaso de difracción en una red primitiva.	
14.2 Factores de estructura.	
14.3 Algunas estructuras importantes: cc, ccc y hc.	
14.4 Reflexiones de superred y formación de imágenes.	
14.5 Difracción en superredes de largo alcance.	
14.6 Reflexiones prohibidas.	
14.7 Uso de las tablas internacionales.	
<b>15. Difracción en volúmenes pequeños.</b>	<b>4</b>
15.1 Introducción.	
15.2 El efecto de laminilla.	
15.3 Difracción en muestras en forma de cuña.	
15.4 Difracción de defectos planares.	
15.5 Difracción de partículas.	
15.6 Difracción de dislocaciones	
15.7 Difracción y la superficie de dispersión.	
<b>16. Formación de imágenes en el MET.</b>	<b>4</b>
16.1 Contraste.	

16.2 Principios de contraste de imágenes	
16.3 Contraste de masa - espesor.	
16.4 Contraste Z.	
16.5 Contraste de difracción en el MET.	
<b>17. Efectos de espesor y doblez.</b>	<b>4</b>
17.1 Bandas de espesor.	
17.2 Contornos de doblez.	
17.3 Defectos Planares.	
17.4 Translaciones y Rotaciones.	
17.5 Matriz de dispersión.	
17.6 Fallas de apilamiento en materiales ccc.	
17.7 Otras translaciones: bandas y .	
17.8 Límites o fronteras de fase.	
17.9 Límites o fronteras de rotación.	
17.10 Formación de imágenes cuantitativa.	
<b>18. Campos de deformación.</b>	<b>4</b>
18.1 Ecuaciones de Howie-Whelan.	
18.2 Contraste de una dislocación aislada.	
18.3 Campos de desplazamiento y esfera de Ewald.	
18.4 Nodos y redes de dislocaciones	
18.5 Dipolos y bucles de dislocaciones.	
18.6 Pares, grupos y arreglos de dislocaciones.	
18.7 Efectos superficiales.	
18.8 Dislocaciones e interfaces.	
18.9 Defectos volumétricos y partículas.	
18.10 Simulación de imágenes.	
<b>19. Imágenes de contraste de fase.</b>	<b>4</b>
19.1 Introducción.	
19.2 El origen de las bandas de red.	
19.3 Formación de imágenes de bandas de red sobre ejes.	
19.4 Patrones de Moire.	
19.5 Contraste de Fresnel.	
<b>20. MET de alta resolución.</b>	<b>4</b>
20.1 Introducción.	

20.2 La muestra.	
20.3 La función de transferencia.	
20.4 Desenfoque de Scherzer.	
20.5 Consideraciones experimentales.	
20.6 Ejemplos.	
<b>21. Simulación de imágenes.</b>	<b>4</b>
21.1 El método de multicapa.	
21.2 La táctica de espacio recíproco.	
21.3 La táctica de FFT.	
21.4 La táctica de espacio real.	
21.5 Ondas de Bloch y simulación de alta resolución.	
21.6 Consideración de la curvatura e la esfera de Ewald.	
21.7 Selección del espesor de la capa.	
21.8 Convergencia del haz.	
21.9 Modelación de la estructura.	
<b>22. Cuantificación y Procesamiento de imágenes de alta resolución.</b>	<b>4</b>
22.1 Procesamiento de imágenes.	
22.2 Cuantificación de imágenes.	
22.3 Técnicas de procesamiento.	
22.4 Aplicaciones.	
22.5 Contraste de Fresnel.	
Total de horas	90 Hrs.

### III.3 BIBLIOGRAFIA UTILIZADA EN LA ASIGNATURA

1. **Williams D. B., Barry C Carter**, *Transmisión Electrón Microscopy: A Textbook for Materials Science* Springer 2004, ISBN 0 306 45324 X.
2. **Fultz B, . Howe J.M**, *Transmisión Electrón Microscopy and Diffractometry of Materials*, Springer 2002, ISBN-10: 3540437649.
3. **Ray F. Egerton**, *Physical Principles of Electron Microscopy: An Introduction to TEM, SEM, and AEM (Hardcover)*. Springer 2005, ISBN-10: 0387258000.

### III.4 PROCEDIMIENTOS O INSTRUMENTOS DE EVALUACION A UTILIZAR

Exámenes, exposiciones, portafolios de evidencias (tareas programadas para dar seguimiento al avance del alumno)

1. Se realizarán tres exámenes a lo largo del curso. El promedio de las calificaciones de estos exámenes integrará el 80% de la calificación del curso.
2. La resolución de problemas y elaboración de proyectos integrará el 20% de la calificación del curso.