



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Planes de Estudios y Normas Operativas  
del Programa de  
Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales

Aprobado por el Consejo Académico de las Áreas de las Ciencias Físico  
Matemáticas y de las Ingenierías, en su sesión ordinaria del 12 de agosto de 2009

# **PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES**

## **CAMPOS DEL CONOCIMIENTO DEL PROGRAMA**

**Materiales Cerámicos**  
**Materiales Complejos**  
**Materiales Electrónicos**  
**Materiales Metálicos**  
**Materiales Poliméricos**

## **GRADOS QUE SE OTORGAN:**

**Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales**  
**Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales**

## **ENTIDADES ACADÉMICAS PARTICIPANTES:**

**Facultad de Ciencias**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Facultad de Química**  
**Instituto de Física**  
**Instituto de Investigaciones en Materiales**  
**Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico**  
**Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada**  
**Centro de Investigación en Energía**  
**Centro de Nanociencias y Nanotecnología**

<b>ÍNDICE</b>	Página
1. PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA	7
1.1. Introducción	7
1.2. Antecedentes	8
1.3. Fundamentación del Programa	8
1.3.1. Demandas del contexto	9
1.3.2. Estado actual y tendencias futuras de los campos de conocimiento que abarca el Programa	9
1.3.3. Situación de la docencia e investigación en los niveles institucional y las entidades académicas participantes	10
1.3.4. Los resultados más relevantes del diagnóstico que fundamentan la viabilidad y pertinencia de estas acciones	11
1.4. Objetivos del Programa	13
1.5. Procedimiento empleado en el diseño del Programa y de sus planes de estudio	13
2. PLANES DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES	15
<i>Plan de estudios de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales</i>	
2.1. Objetivo general del plan de estudios del Programa	15
2.2. Perfiles de la Maestría	15
2.2.1. Perfil de ingreso	15
2.2.2. Perfiles intermedios	15
2.2.3. Perfil de egreso	15
2.2.4. Perfil de graduado	16
2.3. Duración de los estudios y total de créditos	16
2.4. Estructura y organización del plan de estudios de la Maestría	16
2.4.1. Descripción general de la estructura y organización académica del plan de estudios	16
2.4.2. Mecanismos de flexibilidad del plan de estudios	20
2.4.3. Mapa curricular	21
2.5. Requisitos	22
2.5.1. Requisitos de ingreso	22
2.5.2. Requisitos extra curriculares y prerrequisitos	22
2.5.3. Requisitos de permanencia	23
2.5.4. Requisitos de egreso	23
2.5.5. Requisitos para obtener el grado	23
2.6. Modalidades para obtener el grado de maestría y sus características	24
2.7. Certificado complementario	25
<i>Plan de Estudios de Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales</i>	
2.8. Objetivo general del plan de estudios del Programa	26
2.9. Perfiles del Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales	26

2.9.1. Perfil de ingreso	26
2.9.2. Perfiles intermedios	26
2.9.3. Perfil de egreso	26
2.9.4. Perfil de graduado	27
2.10. Duración de los estudios	27
2.11. Estructura y organización del plan de estudios	27
2.11.1. Descripción general de la estructura y organización académica del plan	27
2.11.2. Mecanismos de flexibilidad del plan de estudios	28
2.11.3. Plan de trabajo de las actividades académicas	29
2.12. Requisitos	30
2.12.1. Requisitos de ingreso	30
2.12.2. Requisitos extracurriculares y prerrequisitos	30
2.12.3. Requisitos de permanencia	30
2.12.4. Requisitos de egreso	31
2.12.5. Requisitos para cambio de inscripción de doctorado a la maestría	31
2.12.6. Requisitos para obtener la candidatura al grado de Doctor	32
2.12.7. Requisitos para obtener el grado	32
2.13. Certificado complementario	33
3. NORMAS OPERATIVAS DEL PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES	35
Disposiciones generales	35
De las entidades académicas	35
Del Comité Académico	36
De la permanencia de los representantes del Comité Académico	41
Del Coordinador del Programa	43
De los procedimientos y mecanismos de ingreso para maestría y doctorado	44
De los procedimientos y mecanismos para la permanencia y evaluación global de los alumnos de maestría y doctorado.	45
De los exámenes disciplinarios y de los jurados de exámenes disciplinarios	47
Del procedimiento para la obtención de la candidatura al grado de doctor	48
Del procedimiento para la integración, designación y modificación de los jurados en los exámenes de grado de maestría y doctorado	50
Del procedimiento para la obtención del grado de maestro o doctor	50
Del procedimiento para el cambio de inscripción de doctorado a maestría	53
Procedimientos para la suspensión, reincorporación, evaluación alterna y aclaraciones respecto a decisiones académicas que afecten al alumno	54
De las equivalencias de estudios para alumnos del plan o planes a modificar	54
Procedimiento para las revalidaciones y acreditaciones de estudios realizados en otros planes de posgrado	55
Del Sistema de Tutoría	56

De los requisitos mínimos para ser profesor del Programa y sus funciones	59
De los criterios y procedimientos para incorporar, modificar o cancelar campos de conocimiento	59
De los mecanismos y criterios para la evaluación y actualización del plan o planes de estudios que conforman el Programa	60
De los criterios y procedimientos para modificar las normas operativas.	61
<b>4. ACTIVIDADES ACADÉMICAS DEL PROGRAMA DE POSGRADO</b>	
<b>EN CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES</b>	<b>63</b>
4.1. Actividades Académicas Introdutorias	65
4.2. Actividades Académicas Básicas	73
4.3. Actividades Académicas de los Campos de Conocimientos	94
4.3.1. Del Campo de Conocimiento de Materiales Cerámicos	93
4.3.2. Del Campo de Conocimiento de Materiales Complejos	104
4.3.3. Del Campo de Conocimiento de Materiales Electrónicos	118
4.3.4. Del Campo de Conocimiento de Materiales Metálicos	141
4.3.5. Del Campo de Conocimiento de Materiales Poliméricos	154
4.4. Actividades Académicas de las Matemáticas	167
4.5. Actividades Académicas Optativas	180
4.6. Actividad Académica de Proyecto de Investigación, Estancia de Investigación y Seminario de Investigación	181



## 1. PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA

### 1.1. Introducción

#### CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES

Como es de todos conocido, los materiales han sido centrales para el crecimiento, la prosperidad, la seguridad y la calidad de vida de los humanos. En el estudio sistemático de los materiales, el área del conocimiento que se le denomina ciencia de materiales emerge como resultado del conocimiento de la relación que guardan las propiedades de los materiales y su estructura. La actividad que recibe el nombre de ingeniería de materiales aparece por la utilización de diversos materiales buscando mejorarlos, diversificar su uso para así dar satisfacción de manera más eficiente a las necesidades que surgen de la sociedad. Por otra parte, la ciencia e ingeniería de materiales tiene que ver con la generación y aplicación del conocimiento que relaciona la composición, estructura y procesado de los materiales con sus propiedades y usos. Esta definición deja muy en claro que el concepto ciencia e ingeniería de materiales liga la ciencia y la ingeniería como un campo continuo que, por su propia naturaleza, no es adecuado separar en ciencia e ingeniería. Dicho de otra manera, la ciencia e ingeniería de materiales combina de manera íntima el conocimiento de la materia con el mundo real de la función del material y su desempeño. Liga el estudio profundo, fundamental de la materia con el imperativo de la satisfacción de las necesidades humanas.

Los científicos e ingenieros de materiales estudian la estructura y composición de los materiales desde escalas electrónicas y atómicas, hasta el nivel macroscópico. Ellos desarrollan nuevos materiales, mejoran los tradicionales y producen materiales confiables y económicos mediante la síntesis y el procesamiento, se enfocan a entender los fenómenos y medir las propiedades de los materiales de todo tipo, predicen y evalúan el desempeño de los materiales así como la estructura y funcionalidad de los elementos en los sistemas de ingeniería.

En resumen, son estos elementos: propiedades, estructura y composición, síntesis, procesamiento y desempeño, y la estrecha interrelación entre ellos, lo que define el campo de la ciencia e ingeniería de materiales.

El Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales, aprobado como tal el 10 de marzo de 1999, se diseñó tomando en consideración los conceptos expresados anteriormente. Bajo estos conceptos y con la participación de las entidades académicas participantes el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales ha tenido un crecimiento significativo en la matrícula, alumnos graduados tanto de maestría como en doctorado, calidad de los tutores y de los temas de investigación que se desarrollan para la obtención del grado, lo que le valió que en 2007 obtuviese del CONACYT el reconocimiento como un posgrado de competencia internacional tanto en su plan de estudios de maestría, como del doctorado.

Esta nueva adecuación y modificación del Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales y sus planes de estudio al nuevo Reglamento General de Estudios de Posgrado, aprobado por la H. Consejo Universitario, en su sesión del 29 de septiembre de 2006, continúa con los lineamientos del concepto moderno de la ciencia e ingeniería de materiales, mejorando, en su Programa, los aspectos que en las normas operativas y planes de estudio se han identificado como débiles y fortaleciendo los aspectos positivos del mismo.

## **1.2. Antecedentes**

Los estudios en el nivel de posgrado, en ciencia e ingeniería de materiales en la UNAM, se iniciaron en 1975, al crearse la Maestría en Física de Materiales, en la Facultad de Ciencias, con la colaboración del entonces Centro de Investigación de Materiales. Posteriormente, en 1988, dicho grado de estudios cambió su denominación a la de Maestría en Ciencias (Ciencia de Materiales), creándose en forma simultánea el Doctorado en Ciencias (Ciencia de Materiales) y manteniéndose a cargo de la Facultad de Ciencias, en colaboración con el ahora Instituto de Investigaciones en Materiales. De este modo se conformó el Posgrado en Ciencias (Ciencia de Materiales).

Con la instauración del Reglamento General de Estudios de Posgrado, aprobado por el H. Consejo Universitario en el mes de diciembre de 1995, que establecía que los estudios de posgrado estarían organizados en forma de programas de estructura flexible y procurarían la participación conjunta de las entidades académicas que cultivaran disciplinas o ramas afines del conocimiento, se presentó el proyecto de adecuación correspondiente y, en marzo de 1999, se creó el Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales con un plan de estudios de maestría y otro de doctorado, bajo el concepto moderno de la ciencia e ingeniería de materiales expresado en la introducción de este documento. Las entidades académicas participantes fueron: la Facultad de Ciencias, la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Química, el Instituto de Investigaciones en Materiales, el Centro de Ciencias de la Materia Condensada y el Centro de Investigación en Energía, lo que implicaba la cancelación del Programa de Posgrado en Ciencias (Ciencia de Materiales), que venía ofreciendo la Facultad de Ciencias.

En sesión ordinaria del pleno del Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías, celebrada el 29 de septiembre de 2003, se aprobó, por unanimidad, la incorporación del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, como entidad participante en el Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales.

Una de las entidades participantes en el Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales, el Centro de Ciencia de la Materia Condensada, ubicada en Ensenada, Baja California, en marzo de 2008, cambió de denominación a Centro de Nanociencias y Nanotecnología, manteniendo su participación en el Programa.

En sesión ordinaria del pleno del Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías, celebrada el 10 de septiembre de 2008, se aprobó, por unanimidad, la incorporación del Instituto de Física, como entidad participante en el Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales.

En sesión ordinaria del pleno del Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías, celebrada el 4 de febrero de 2009, se aprobó, por unanimidad, la incorporación del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, como entidad participante en el Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales.

## **1.3. Fundamentación del Programa**

El Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales está constituido por un plan de estudios de maestría y otro de doctorado. Los estudiantes egresados de las licenciaturas en física, ingeniería, materiales, química, o cualquiera otra que sea afín, podrán ingresar al plan de estudios de maestría, en tanto que aquellos que hubieren

finalizado una maestría en ciencia e ingeniería de materiales, física, ingeniería, química u otra que fuera afin, estarán en posibilidad de incorporarse al plan de estudios de doctorado.

El plan de estudios de maestría tiene dos orientaciones: una de carácter terminal o profesionalizante y otra de opción al doctorado. La orientación profesionalizante proporciona al alumno conocimientos especializados en ciencia e ingeniería de materiales y lo prepara para la actividad profesional, de manera que al laborar en una empresa o laboratorio de investigación tendrá la capacidad de resolver problemas concretos de alto nivel. En cambio, la orientación de opción al doctorado proporciona al alumno sólidos conocimientos en ciencia e ingeniería de materiales, preparándolo para definir un tema de investigación, de tal forma que al ingresar al doctorado estará en condiciones de concentrarse plenamente en las tareas de investigación que le son propias.

El plan de estudios de doctorado tiene el propósito de formar investigadores en el área de la ciencia e ingeniería de materiales, capaces de generar conocimientos a través de proyectos originales, además de formar los recursos humanos necesarios para el progreso de la ciencia y la tecnología en el país. Los exámenes disciplinarios y el correspondiente a la candidatura al grado, son dos de las etapas fundamentales a cubrir para la formación sólida del alumno de doctorado.

### **1.3.1. Demandas del contexto**

El Programa del Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales ha definido como sus campos de conocimiento a los Materiales Cerámicos, Materiales Complejos, Materiales Electrónicos, Materiales Metálicos y Materiales Poliméricos, lo que ha permitido que muchos investigadores de diferentes áreas del conocimiento, como los de física, química, ingeniería y áreas afines se integren como tutores y profesores del Programa; así mismo, estudiantes titulados, principalmente de las carreras de física, química y de las ingenierías, se han interesado en realizar sus estudios en el Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales. La consecuencia de todo lo anterior ha sido el gran crecimiento que ha tenido el Posgrado tanto en matrícula, como en líneas de investigación, calidad de las investigaciones y en el número de artículos de investigación de alumnos con sus tutores. El grado de desarrollo que se ha alcanzado se ve reflejado en la catalogación que dentro del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACYT ha recibido el Posgrado tanto en su programa de maestría, como de doctorado, como de “competencia internacional”, que es el nivel más alto dentro del PNPC. Estas consideraciones hacen que el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales de la UNAM pueda considerarse como el programa de posgrado en materiales más importante del país.

### **1.3.2. Estado actual y tendencias futuras de los campos de conocimiento que abarca el Programa**

La ciencia e ingeniería de materiales es interdisciplinaria y multidisciplinaria y se fundamenta en conocimientos de física, química e ingeniería, así como de las técnicas inherentes a estas disciplinas; cuenta con un lenguaje común y presenta diferentes orientaciones según el material de estudio. Los campos de conocimiento que se ofrecen en el Programa se determinaron, primordialmente, considerando una clasificación general de los materiales. De esta manera tanto en la maestría, como en el doctorado, se cubren los siguientes campos de conocimiento:

- Materiales Cerámicos
- Materiales Complejos
- Materiales Electrónicos
- Materiales Metálicos
- Materiales Poliméricos

Los alumnos, una vez que son aceptados en el posgrado, deben escoger uno de los campos de conocimiento en el que deseen realizar estudios. En cada uno de estos campos, los alumnos reciben una formación de acuerdo con el principio fundamental de la ciencia e ingeniería de materiales; que es el conocimiento de la relación entre la composición, estructura y procesado de los materiales con sus propiedades y aplicaciones.

Los campos de conocimiento del Programa son lo suficientemente amplios como para que la aparición de nuevos materiales o materiales con nuevas estructuras, por ejemplo, los superconductores de alta  $T_c$  o los materiales nanoestructurados, puedan ser clasificados en alguno de éstos o, por su naturaleza, estén comprendidos en todos o algunos de ellos. Así, hasta ahora no ha sido necesario considerar la apertura de un nuevo campo de conocimiento para cubrir nuevas áreas de investigación y enseñanza. No obstante, el Posgrado está abierto a incorporar nuevos campos del conocimiento que le permitan cumplir cabalmente con los objetivos de sus programas.

### **1.3.3. Situación de la docencia e investigación en los niveles institucional y las entidades académicas participantes**

Los espectaculares avances en el conocimiento básico de los materiales y en el desarrollo tecnológico de los mismos de estas últimas décadas, se han debido, en gran medida, a la participación activa que han tenido los investigadores y tecnólogos especializados en materiales. El permanente desafío tecnológico que enfrenta la humanidad requiere contar con materiales cada vez más sofisticados y especializados y, por ende, de personal capacitado para llevar a cabo esta tarea. Es así que, el Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales, a través de sus planes de estudio de maestría y doctorado, participa en esta labor formando los recursos humanos capacitados para intervenir en estas tareas de investigación y desarrollo de materiales, que son requeridos tanto a nivel nacional, como internacional.

En este nuevo plan de estudios de doctorado no se contempla el ingreso directo al doctorado a partir de la licenciatura, considerando que es necesario e importante que los alumnos acrediten actividades académicas durante sus estudios de maestría, para que adquieran los conocimientos amplios y sólidos de los conceptos básicos en ciencia e ingeniería de materiales. Por tal motivo, los alumnos con una licenciatura sólo podrán ingresar a la maestría. No obstante, para aquellos alumnos que de inicio tienen como objetivo realizar un doctorado, para dedicarse a la vida académica y de investigación científica, en el plan de estudios de maestría se creó la modalidad de obtención del grado por examen general de conocimientos, que permite que estos alumnos al ingresar al doctorado puedan dedicarse de inmediato al trabajo de investigación para el desarrollo de su tesis doctoral.

En la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales se tienen tres modalidades para la obtención del grado: a) por la forma tradicional de tesis de investigación. b) por reporte

de investigación, de un problema para la empresa, institución u otras instancias en la que el alumno haya realizado su estancia de investigación; esta modalidad tiene como finalidad la creación de vínculos más sólidos con el sector productivo y de investigación, y c) por examen general de conocimientos, para el cual el alumno debe tener aprobados los exámenes disciplinarios y el protocolo de investigación.

El plan de estudios de doctorado tiene el propósito de formar investigadores en el área de la ciencia e ingeniería de materiales, que sean capaces de generar nuevos conocimientos a través de los resultados de sus investigaciones y, además, de formar los recursos humanos necesarios para el progreso de la ciencia y la tecnología en el país. Los exámenes disciplinarios y el examen de candidatura al grado de doctor representan dos de las etapas fundamentales a cubrir para la formación sólida del alumno de doctorado (dos de los requisitos que se cumplen en la maestría por medio de la modalidad de graduación por examen general de conocimientos) y, la tercera y última etapa que comprende el desarrollo de su trabajo de investigación para su tesis doctoral.

#### **1.3.4. Los resultados más relevantes del diagnóstico que fundamentan la viabilidad y pertinencia de estas acciones**

Los requerimientos primordiales para un alumno que ingresa al posgrado en ciencia e ingeniería de materiales están plasmados en el perfil de ingreso, tanto para los alumnos de maestría como para los de doctorado. Los planes de estudio del Programa están diseñados para los alumnos que se comprometan a dedicar tiempo completo a sus estudios. Cada una de las actividades académicas de los planes de estudio exigen de los alumnos muchas horas de estudio y dedicación, para adquirir un buen nivel de conocimientos y dominio de las mismas; el trabajo de investigación que tiene que realizar el estudiante para obtener el grado correspondiente, requiere de un trabajo constante en el laboratorio manejando equipos de investigación especializados o ante computadoras que corren programas de investigación muy sofisticados. La ciencia e ingeniería de materiales es multidisciplinaria y requiere de sus estudiantes, en los inicios de sus estudios, conocimientos en física, química y matemáticas, al menos a un nivel medio de los cursos que se imparten en las carreras de las licenciaturas correspondientes. El idioma inglés es, hoy en día, fundamental para todo alumno que desee estudiar una carrera científica y, posiblemente, en cualquier campo del conocimiento humano. Para que un alumno pueda rendir satisfactoriamente en sus estudios requiere, ante todo, tener cubierto las necesidades primordiales de alimento y techo; por lo que surge el requisito de aceptar estudiantes que tengan un promedio mínimo de 8.0 en el nivel de estudios inmediato anterior, ya que esto proporciona, por un lado, una cierta garantía de éxito en sus estudios y, por la otra, de una beca para realizar sus estudios.

Los graduados de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales han recibido una formación que los capacita para dar apoyo a labores de investigación en el campo de su especialidad, o en aquellos cercanos a ésta; lo anterior, a través de la formación sólida en los conceptos básicos del campo y de la preparación técnica en manejo de equipos especializados para la preparación, caracterización y análisis de muestras para la investigación científica y/o de manejo de programas de cómputo especializado para estudio teórico de materiales. Su preparación los capacita para seguir actualizándose en los temas de su competencia y en adquirir conocimientos sobre nuevas técnicas de investigación. Los conocimientos adquiridos les permiten realizar labores de docencia especializada en temas relacionados con la ciencia e ingeniería de los materiales. Los graduados de la Maestría en

Ciencia e Ingeniería de Materiales pueden continuar con su superación académica, ingresando al Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales o en otro programa de doctorado afín, tanto en el país, como en el extranjero.

Los graduados del Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales están capacitados para presentar, organizar y llevar a cabo proyectos de investigación científica, en sus respectivos campos de conocimiento, que den lugar a resultados originales y de frontera; también, su propia formación los adiestra para poder adentrarse a nuevas áreas del conocimiento; en su formación reciben el entrenamiento para poder comunicar los resultados de sus investigaciones en forma oral (congresos) o en forma escrita (artículos de investigación). Una de las tareas primordiales de un investigador es la formación de recursos humanos para las tareas de investigación y enseñanza. Los graduados del doctorado de este Programa están capacitados para participar en la formación de recursos humanos en ciencia e ingeniería de los materiales y en la impartición de cursos de alto nivel en sus campos de conocimiento y en temas especializados.

Al obtener el grado, un alumno del Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales está preparado para desarrollar profesionalmente trabajos de investigación científica en instituciones de educación superior y en centros de investigación y desarrollo tanto públicos, como privados, en el país y en el extranjero.

Dentro de los cambios propuestos en el Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales, se tiene que cinco de éstos representan cambios importantes con respecto al Programa vigente. Éstos son:

- La desaparición del doctorado directo.
- La creación de dos modalidades adicionales a la tesis para la obtención del grado de Maestro en Ciencia e Ingeniería de Materiales.
  - Por reporte de investigación y
  - Por examen general de conocimientos.
- Ingreso directo al doctorado para los graduados de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales, previa aprobación del Comité Académico.
- La posibilidad de validar un máximo de dos exámenes disciplinarios si se tuvo un desempeño excelente durante los estudios de maestría.
- La incorporación de una actividad académica denominada “Proyecto de investigación” en el segundo semestre de la maestría, así como la reconfiguración de las actividades académicas de las áreas de concentración por actividades introductorias y actividades por campos de conocimiento.

Estos cambios provienen, por una parte, de la consideración de que los alumnos deben adquirir conocimientos amplios y sólidos de los conceptos básicos en ciencia e ingeniería de materiales mediante créditos en la maestría y, por la otra, de eliminar en lo posible para los alumnos de doctorado las dobles evaluaciones y coadyuvar a mejorar sus tiempos de graduación. En general, estos cambios han sido bien vistos y aceptados por la comunidad del Posgrado. Estas transformaciones están orientadas para que más alumnos de la maestría continúen con el doctorado y mejorar los tiempos de graduación.

Asimismo, se realizaron los cambios necesarios para la adecuación del Programa, entre otros: la reconfiguración de los miembros de jurado de examen de grado de doctor, la actualización de las normas operativas con las nuevas disposiciones procedimentales, la inclusión de elementos de flexibilidad, entre otros.

#### **1.4. Objetivo del Programa**

El objetivo del Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales es formar investigadores y profesionales de la más alta calidad en ciencia e ingeniería de materiales, que contribuyan a la generación de conocimientos y a la solución de problemas que enfrenta la sociedad en los diversos campos de conocimiento de los materiales.

#### **1.5. Procedimiento empleado en el diseño del Programa y de sus planes de estudio**

El Comité Académico del Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales, en su sesión ordinaria de abril de 2007, acordó iniciar la adecuación de sus planes de estudio de maestría y doctorado al Reglamento General de Estudios de Posgrado, aprobado el 29 de septiembre de 2006 por el H. Consejo Universitario. El Comité Académico pidió, en esta adecuación, fortalecer todos los aspectos positivos del Programa, incluyendo los planes de estudio, las actividades académicas, los campos de conocimiento y las líneas generales de investigación, además de mejorar aquellos que se habían identificado como débiles, para lo cual designó una Comisión para la Adecuación de Planes de Estudio.

Durante los diez meses de trabajo, la Comisión para la Adecuación de Planes de Estudio, tomando en cuenta los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado, aprobados el 24 de agosto de 2007 por el pleno del Consejo de Estudios de Posgrado, optó por consultar a las entidades académicas participantes, tutores y alumnos y por someter propuestas preliminares a la consideración del Comité Académico, concluyendo sus labores con la presentación de sus propuestas de normas operativas y programas de trabajo, mismas que fueron aprobadas por el Comité Académico del Programa en su sesión del 13 de febrero de 2008.

En abril de 2008 se iniciaron las actividades del Comité de Adecuación de Actividades Académicas, designado por el Comité Académico del Programa, con la finalidad de determinar para la propuesta de adecuación y modificación del plan de estudios de maestría el conjunto de actividades académicas, estableciéndose la siguiente estructura: introductorias, básicas, por campo de conocimiento y optativas que conforman el plan; además, se determinaron las actividades académicas denominadas Proyecto de Investigación, Estancia de Investigación y Seminario de Investigación.



## **2. PLANES DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES**

### **PLAN DE ESTUDIOS DE LA MAESTRÍA EN CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES**

#### **2.1. Objetivo general del plan de estudios del Programa**

Formar recursos humanos con conocimientos generales en el nivel de posgrado y con experiencia en investigación que les confieran versatilidad y preparación suficientes para incorporarse a labores de investigación y desarrollo en los sectores educativos, productivos y de servicios, así como para realizar labores de docencia especializada; todo ello en el área de ciencia e ingeniería de materiales.

#### **2.2. Perfiles de la Maestría**

##### **2.2.1. Perfil de ingreso**

El aspirante a ingresar a la maestría requiere:

- a) Tener interés por incorporarse a labores de investigación y desarrollo en algún sector de la producción o de servicios, así como por realizar labores de docencia especializada, o bien, aspirar a cursar estudios de doctorado,
- b) Estar comprometidos con una superación académica sólida,
- c) Estar comprometidos a dedicar tiempo completo para concluir sus estudios y obtener el grado en los plazos establecidos en las normas operativas,
- d) Tener las bases necesarias en matemáticas, química y física, además de la capacidad para adquirir los conocimientos contenidos en el plan de estudios de la maestría,
- e) Haber obtenido el grado de licenciatura con un promedio mínimo de ocho (8.0) para que sean elegibles a beca y
- f) Tener conocimientos suficientes del idioma inglés.

##### **2.2.2. Perfiles intermedios**

En los dos primeros semestres de la maestría el alumno adquiere los conocimientos conceptuales en el campo de la ciencia e ingeniería de los materiales y, en particular, en el campo de conocimiento escogido, mediante la acreditación de los cursos básicos y de campo de conocimiento. Asimismo, conjuntamente con su tutor principal, define el tema de investigación para el trabajo escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación) y entrega, a finales del segundo semestre, un proyecto de investigación. En la segunda etapa de su formación, tercero y cuarto semestres, el alumno desarrolla el trabajo de investigación de su trabajo escrito para la presentación de su examen de grado.

##### **2.2.3. Perfil de egreso**

El egresado de la maestría debe tener una formación sólida en el campo de conocimientos que cultivó durante sus estudios, experiencia suficiente en el manejo de metodologías propias de la investigación de materiales y, además, estar capacitado para resolver

problemas propios de su área de conocimiento que pudieran presentarse en los sectores productivo o de servicios.

#### **2.2.4. Perfil del graduado**

Al obtener el grado el alumno estará preparado para desarrollar actividades de apoyo a la investigación en los sectores productivo o de servicios, realizar labores de enseñanza especializada en centros educativos de enseñanza superior y preparado para ingresar al doctorado en ciencia e ingeniería de materiales u otro doctorado afín. Al obtener el grado el alumno deberá mostrar capacidad para:

- a) Apoyar actividades de investigación,
- b) Mantenerse actualizado en los temas de su especialidad, así como adquirir conocimientos sobre nuevas técnicas,
- c) Analizar de manera crítica la información científica,
- d) Interpretar y comunicar, tanto en forma oral como escrita, los resultados de sus investigaciones,
- e) Realizar labores de docencia especializada en Ciencia e Ingeniería de Materiales.

#### **2.3. Duración de los estudios y total de créditos**

El plan de estudios de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales tendrá una duración de cuatro semestres y un valor en créditos de 80; de los cuales (20) son obligatorios, distribuidos en (3) actividades académicas; (52) créditos son obligatorios de elección, distribuidos en (5) actividades académicas y (8) créditos optativos, distribuidos en (1) actividad académica.

En la tabla siguiente se muestran los créditos por actividad académica:

ACTIVIDAD ACADÉMICA	CRÉDITOS
Básica	12
Introdutoria	8
Campo de Conocimiento	8
Optativa	8
Estancia de Investigación	8
Seminario de Investigación	8
Proyecto de Investigación	4

#### **2.4. Estructura y organización del plan de estudios de la Maestría**

##### **2.4.1. Descripción general de la estructura y organización académica del plan de estudios**

El plan de estudios de maestría está organizado en los cinco campos de conocimiento mencionados en la Sección 1.3 “Fundamentación del Programa” y está diseñado para que el alumno acredite sus actividades académicas de cursos en sus dos primeros semestres y

se dedique, en sus dos semestres restantes, al desarrollo de su investigación para el trabajo escrito para la presentación del examen de grado. Las actividades académicas de cursos están divididas en cuatro grupos: a) introductorias, b) básicas, c) por campo de conocimiento y d) optativas. Todos los alumnos que ingresen a la maestría deberán acreditar una de las actividades introductorias, que definirá el Comité Académico de acuerdo con la formación del alumno. Se han definido siete actividades académicas básicas, de las cuales el alumno, conjuntamente con su tutor principal, deberá escoger tres de éstas, de acuerdo con su formación y su campo de conocimiento. Para una formación integral, el alumno deberá cursar y acreditar una actividad académica de su campo de conocimiento y una actividad académica optativa.

Las actividades de investigación se inician propiamente durante el segundo semestre con la actividad académica denominada Proyecto de Investigación en la cual el alumno, conjuntamente con su tutor principal, define el tema de investigación para su documento escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación), para la obtención del grado. Con lo anterior, el alumno en el tercer semestre, a través de la actividad académica denominada Estancia de Investigación, inicia su trabajo de investigación. La estancia de investigación se puede realizar en un laboratorio de investigación, de cualquier parte del país o del extranjero y también en una instalación industrial. Durante el cuarto semestre el alumno realiza la actividad académica denominada Seminario de Investigación, que está enfocado para que concluya con su trabajo de investigación y desarrolle su documento escrito, según corresponda.

Por lo tanto el alumno deberá cubrir 80 créditos distribuidos en nueve actividades académicas de la siguiente manera: una actividad académica introductoria (8 créditos), tres actividades académicas básicas (12 créditos cada una), una actividad académica de campo de conocimiento (8 créditos), una actividad académica optativa (8 créditos), el proyecto de investigación (4 créditos), la estancia de investigación (8 créditos) y el seminario de investigación (8 créditos). El plan de estudios de maestría contempla, además, actividades complementarias sin créditos, así como el documento escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación) que corresponda a la modalidad de graduación que se elija.

#### **Actividades académicas introductorias:**

Por lo que corresponde al plan de estudios de maestría, el Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales acepta estudiantes que provengan de diferentes licenciaturas, principalmente de Física, Ingeniería y Química. En orden de homogeneizar los conocimientos básicos que se requieren para iniciar los estudios en ciencia e ingeniería de materiales, se han definido tres actividades académicas denominadas introductorias:

- a) Fundamentos de Matemáticas para Materiales,
- b) Introducción a la Mecánica Cuántica y
- c) Introducción a la Química de Materiales.

Todos los alumnos que ingresen a la maestría acreditarán, al menos, una de estas actividades académicas introductorias, según la licenciatura que hayan concluido. Esto es: los alumnos egresados de la licenciatura en Química, acreditarán obligatoriamente Fundamentos de Matemáticas para Materiales; los egresados de alguna de las licenciaturas en Ingeniería, acreditarán obligatoriamente Introducción a la Mecánica Cuántica y los

egresados de la licenciatura en Física, deberán acreditar Introducción a la Química de Materiales. El Comité Académico podrá cambiar la asignación de la actividad académica introductoria del alumno, con base en el resultado de su examen de ingreso o en atención a la solicitud escrita y razonada del alumno. Para los egresados de otras licenciaturas, el Comité Académico determinará las actividades académicas introductorias que deberán acreditar.

**Actividades académicas básicas:**

Durante los dos primeros semestres de la maestría, los alumnos cursarán y acreditarán tres actividades académicas pertenecientes al grupo de las denominadas básicas. Estas actividades académicas serán asignadas por el Comité Académico, de acuerdo con la preparación y el campo de conocimiento seleccionado por el alumno. Estas actividades académicas podrán ser cambiadas por el Comité Académico, con base en la solicitud razonada del alumno, avalada por su tutor principal.

El grupo de las actividades académicas básicas son:

- Estructura de los Materiales
- Estructura Electrónica de Materiales
- Matemáticas Aplicadas a Materiales
- Mecánica de Medios Continuos
- Propiedades Mecánicas de Materiales
- Química de los Materiales
- Termodinámica de los Materiales

La relación de las actividades académicas básicas será revisada y actualizada anualmente por el Comité Académico, en tanto que el contenido de cada una de ellas deberá ser revisado y actualizado al menos cada dos años. En ambos procesos se tomarán en consideración los resultados de los exámenes disciplinarios, así como las opiniones de los profesores que hayan impartido los cursos de dichas actividades.

**Actividad académica obligatoria de elección por campo de conocimiento:**

Para una formación integral, el alumno deberá cursar y acreditar una actividad académica de su campo de conocimiento, detalladas anteriormente, y una actividad académica optativa seleccionada de la lista de actividades académicas que se presenta en el apartado correspondiente, previa aprobación de su comité tutor.

**Actividad académica optativa:**

Como actividad académica optativa el alumno podrá cursar, previa aprobación de su comité tutor, alguna del conjunto de las básicas que no haya acreditado o de campo de conocimiento de otros campos diferentes al escogido. Asimismo, podrá cursar actividades en otros programas de posgrado previa aprobación de su comité tutor y a lo establecido en las normas operativas del Programa.

Se recomienda que el alumno acredite todas las actividades académicas relativas a cursos, en los dos primeros semestres de sus estudios de maestría.

### **Proyecto de Investigación**

Con la intención de que, a lo largo del segundo semestre, el alumno empiece a definir el tema de su documento escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación del examen general de conocimientos), deberá informarse acerca de los posibles temas que podría desarrollar, a fin de delimitar, concretamente con su tutor principal aquel que resulte de su interés. Al término del semestre, el alumno entregará el proyecto de investigación que como elementos mínimos deberá contener: tema, objetivo(s), antecedentes y cómo se llevará a cabo el proyecto, mismo que será evaluado y calificado por el comité tutor, en un formato que apruebe el Comité Académico.

### **Estancia de Investigación**

Durante el tercer semestre, el alumno realizará una estancia de investigación en un laboratorio o en una instalación industrial, con el propósito de realizar actividades de investigación tecnológica en materiales, de aprendizaje de técnicas de preparación y caracterización de materiales o de cualquier otra actividad de interés profesional en el área de la ciencia e ingeniería de materiales. Estas actividades estarán enfocadas a que el alumno desarrolle la investigación de su trabajo escrito de maestría. El programa de actividades debe estar avalado por su tutor principal y ser aprobado por su comité tutor. La estancia será evaluada y calificada por el comité tutor. La evaluación y calificación tendrá un formato que apruebe el Comité Académico.

### **Seminario de Investigación**

Durante el cuarto semestre, el alumno realizará el seminario de investigación. Este seminario está enfocado a que el alumno termine su investigación, desarrolle su documento escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación del examen general de conocimientos), según corresponda, lo someta a la aprobación de su comité tutor (así como al representante designado por la empresa, en el caso de reporte de investigación), y lo exponga públicamente, antes de presentar su examen de grado, en el Coloquio de Estudiantes del Posgrado. Este seminario será evaluado y calificado por el comité tutor. La evaluación y calificación tendrán el formato que apruebe el Comité Académico.

### **Actividades complementarias**

Durante su permanencia en el Programa el alumno deberá asistir al Coloquio de Posgrado (ya sea el que se lleva a cabo en el Instituto de Investigaciones en Materiales, en el caso de los alumnos que están en Ciudad Universitaria, o el Coloquio de la entidad foránea en la que esté adscrito), además de realizar actividades académicas que el Comité Académico considere relevantes para su formación. Estas actividades se definirán semestralmente y no tendrán valor en créditos.

Al término del cuarto semestre el alumno debe haber cubierto el 100% de créditos, contar con los votos aprobatorios para su trabajo escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación del examen general de conocimientos) y defenderlo ante un jurado designado por el Comité Académico.

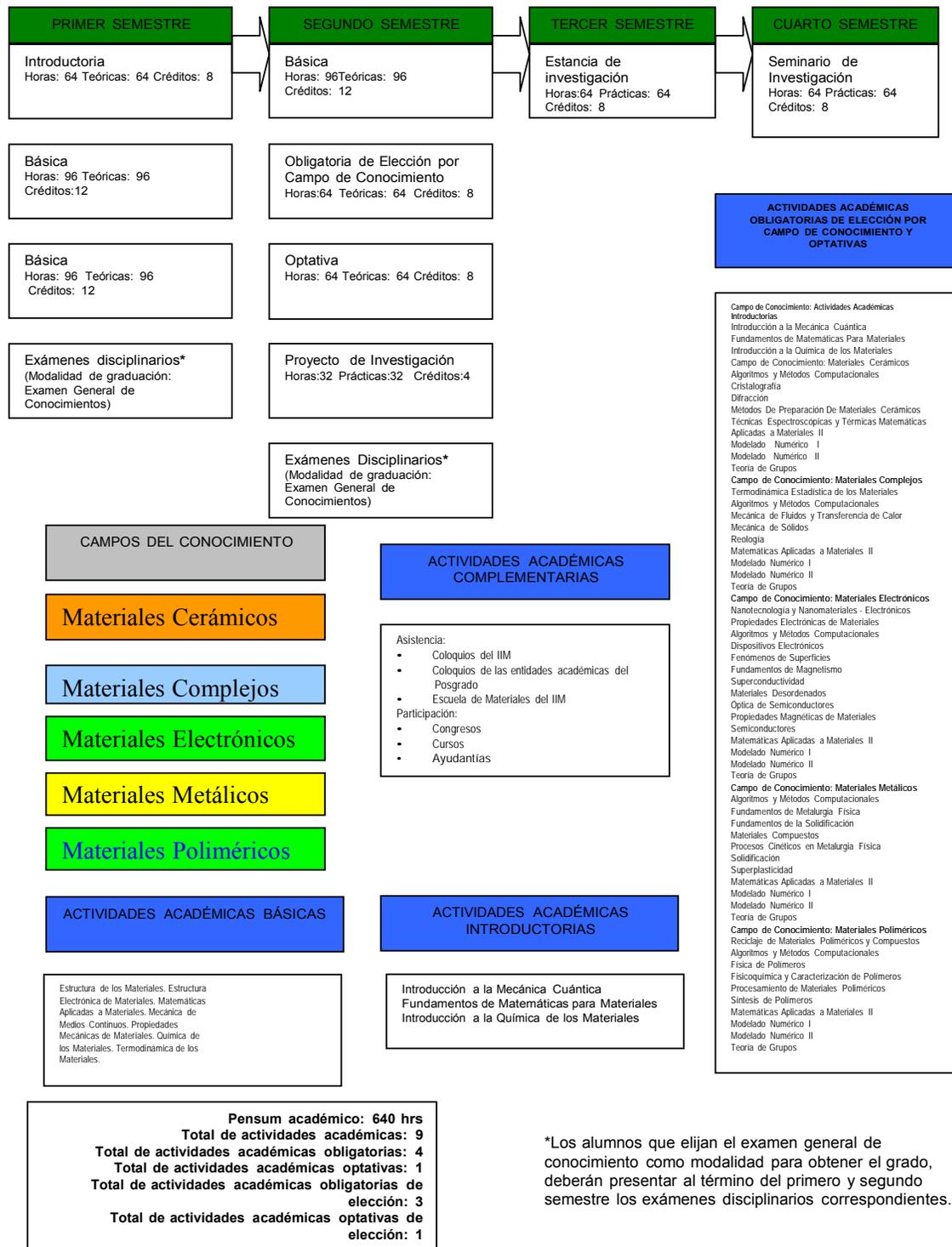
En el plan de estudios de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales no hay una seriación obligatoria o indicativa en las actividades académicas.

Cabe mencionar que los alumnos que elijan el examen general de conocimiento como modalidad para obtener el grado, deberán presentar al término del primero y segundo semestre los exámenes disciplinarios correspondientes.

#### **2.4.2 Mecanismos de flexibilidad del plan de estudios**

- Con la finalidad de enriquecer y darle más flexibilidad al plan de estudios se permitirá, de acuerdo con las normas operativas del Programa, que un alumno del mismo curse actividades académicas de otros programas de posgrado de la UNAM; así mismo, los alumnos de otros programas de posgrado de la propia Institución podrán cursar actividades académicas del Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales.
- Como un mecanismo para ampliar o coadyuvar al desarrollo de las actividades de investigación del trabajo de tesis de maestría, se pueden realizar estancias de investigación tanto en laboratorios de investigación nacionales, como extranjeros. Estas estancias de investigación podrán estar enmarcadas dentro de convenios de movilidad estudiantil o de los acuerdos que realice el tutor principal con sus colaboradores nacionales o extranjeros y deberán ser aprobadas por el Comité Académico, a propuesta del alumno, con el visto bueno de su tutor principal y comité tutor.
- El Reglamento de Estudios de Posgrado en su Artículo 2º, establece que “La UNAM podrá participar con otras instituciones de reconocido prestigio en la organización de programas de posgrado compartidos, atendiendo a los espacios comunes de educación de posgrado en los cuales participe la institución, garantizando la calidad de los programas de estudios que se instrumenten.”
- Con base en lo señalado por el último párrafo del artículo 2, Capítulo II, Título I, de los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado las actividades académicas obligatorias de un plan de estudios podrán ser sustituidas por otras actividades académicas, obligatorias del propio plan y obligatorias u optativas, de otros planes vigentes afines, de acuerdo con lo establecido en el Marco Institucional de Docencia, previa autorización del Comité Académico.

### 2.4.3. Mapa curricular



## **2.5. Requisitos**

### **2.5.1. Requisitos de ingreso**

- Los aspirantes a la Maestría requieren contar con el título o acta de examen de grado de una licenciatura afin a la ciencia e ingeniería de materiales. A criterio del Comité Académico, se pueden aceptar alumnos que hayan cubierto el 100% de los créditos y requisitos del plan de estudios de una licenciatura afin a la ciencia e ingeniería de materiales y que estén próximos a realizar el examen profesional correspondiente.
- En el caso de estudiantes que opten por la titulación de licenciatura a través de créditos de maestría, será indispensable contar con la aceptación oficial de titulación por su facultad o escuela, tener cubiertos el 100% de los créditos de licenciatura, tener carta de pasante y haber realizado el servicio social correspondiente.
- Los aspirantes deberán contar con un promedio mínimo de 8.0, en una escala de 0 a 10 ó su equivalente en otra escala, en sus estudios de licenciatura. El Comité Académico podrá dispensar del promedio mínimo, tomando en cuenta los resultados del examen de admisión del aspirante.
- Para ingresar a la Maestría los aspirantes deben aprobar un examen de conocimientos previos, un examen psicopedagógico (habilidades y aptitudes) y tener una evaluación positiva del Subcomité de Admisión.
- Los aspirantes deberán someterse a una entrevista personalizada de acuerdo con el mecanismo que establezca el Comité Académico.
- Los aspirantes deberán sujetarse a los procedimientos de selección y admisión, de acuerdo con las normas operativas del Programa y,
- Obtener del Comité Académico la carta de aceptación.

### **2.5.2. Requisitos extracurriculares y prerrequisitos**

Idiomas:

- Acreditar el examen del idioma inglés, a nivel de lectura y comprensión de textos, mediante constancia expedida por el CELE, otro Centro de Idiomas de la UNAM u otra que a juicio del Comité Académico sea suficiente.
- Para los alumnos cuya lengua materna no sea el español deberán demostrar, además del dominio del idioma inglés, el del español, mediante una constancia de suficiencia emitida por el CEPE u otra que a juicio del Comité Académico sea suficiente.

### **Cursos propedéuticos para ingreso:**

Como apoyo al examen de admisión, el posgrado ofrece cursos propedéuticos cuyo propósito es el de preparar a los aspirantes para el examen de ingreso y orientarlos hacia el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales.

- Los cursos propedéuticos son opcionales. El examen de conocimientos previos de examen general de admisión está basado en los temarios de los cursos propedéuticos.
- Los aspirantes que aprueben todos los cursos propedéuticos y que su promedio global sea de 8.0 o superior exentarán el examen de conocimientos previos.

### **2.5.3. Requisitos de permanencia**

El alumno deberá:

- Dedicar tiempo completo al plan de estudios Sólo en casos que así lo justifiquen, el Comité Académico podrá autorizar la dedicación de tiempo parcial al mismo.
- Realizar y cumplir satisfactoriamente las actividades académicas que establezcan tanto el Comité Académico, como su comité tutor en su plan individual de actividades. En caso de que un alumno no acredite la misma actividad académica en dos ocasiones será dado de baja en los términos que se establece en las normas operativas de este Programa, en el RGEP y los LGFP.
- Presentar a su comité tutor un informe semestral de las actividades académicas realizadas.
- Obtener de su comité tutor evaluaciones semestrales favorables. En ningún caso se concederán exámenes extraordinarios. En caso de una evaluación desfavorable, el Comité Académico analizará el caso y podrá recomendar la permanencia del alumno, con las condiciones que considere pertinentes. En caso de una segunda evaluación desfavorable el alumno será dado de baja en los términos que se establece en las normas operativas de este Programa, en el RGEP y los LGFP.
- Finalizar sus créditos y plan individual de actividades en el tiempo establecido en el plan de estudios. En su caso, previo dictamen favorable del comité académico, el alumno podrá contar con un plazo de hasta dos semestres consecutivos para finalizar sus créditos y graduarse, si aún así el alumno no se gradúa el comité académico, en casos excepcionales, podrá otorgar una prórroga para que el alumno se gradúe. Lo anterior de conformidad con lo establecido en las normas operativas de este Programa, en el RGEP y los LGFP.

### **2.5.4. Requisitos de egreso**

El alumno deberá haber cursado y aprobado el 100% de los créditos y el total de actividades académicas contempladas en el plan de estudios; en los plazos establecidos por la normatividad correspondiente.

### **2.5.5. Requisitos para obtener el grado**

Para obtener el grado de Maestro, además de los requisitos establecidos en el Reglamento General de Estudios de Posgrado y en las normas operativas del Programa, el alumno deberá:

- Haber cubierto la totalidad de las actividades académicas y el 100% de los créditos y demás requisitos previstos en el plan de estudios de la maestría.
- Haber cubierto las actividades académicas complementarias.
- Haber aprobado el examen del idioma inglés en el nivel de lectura y comprensión de textos, en el CELE, otro centro de idiomas de la UNAM u otra constancia que a juicio del Comité Académico sea suficiente.
- Aprobar el examen de grado, para lo cual deberá elegir y cumplir con los requisitos de alguna de las siguientes modalidades: tesis, reporte de investigación o examen

general de conocimientos. Las características de cada una se definen en el apartado correspondiente a las modalidades para obtener el grado y en las normas operativas del Programa.

- Aquellos alumnos cuya lengua materna no sea el español, deberán contar con la constancia de suficiencia del dominio de dicho idioma, avalada por el Comité Académico.

## **2.6. Modalidades para obtener el grado de maestría y sus características**

Para obtener el grado de maestría se cuentan con tres opciones:

- a) Por tesis,
- b) Por reporte de investigación y
- c) Por examen general de conocimientos.

### **a) Graduación por tesis**

Esta opción está diseñada para el alumno que se inicia en la investigación pero que no tiene contemplado, necesariamente, continuar con el Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales.

### **b) Graduación por reporte de investigación**

Esta opción está diseñada para el alumno que ha resuelto un problema para la empresa en la que realizó su estancia de investigación. El reporte de investigación será un documento completo, aprobado previamente por el comité tutor y avalado por el representante designado por la empresa durante la estancia de investigación del caso.

Tanto la tesis como el reporte de investigación:

- Deberán tener un nivel académico especializado y superior al de licenciatura,
- No tienen, necesariamente, que contener material original que sea publicable en una revista especializada, o que la investigación realizada tenga una contribución original al conocimiento.
- Deberán hacer énfasis en el manejo de la metodología y los resultados obtenidos.
- Deberán incluir una discusión sobre el conocimiento actual en el tema.

En el examen de grado por tesis o por reporte de investigación el alumno deberá demostrar que hizo uso de los conocimientos adquiridos para resolver el problema que se propuso, así como que aplicó la metodología planteada.

### **c) Graduación por examen general de conocimientos**

Esta opción está diseñada para el alumno que desea ingresar al Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Para presentar el examen general de conocimientos el alumno requiere contar con la aprobación de:

- Cuatro exámenes disciplinarios y
- El protocolo de investigación.

Los exámenes disciplinarios evaluarán los contenidos de las actividades académicas básicas y serán aplicados por un jurado designado por el Comité Académico. El periodo de

exámenes disciplinarios se programará como una más de las actividades académicas del semestre escolar; con una duración máxima de una semana. Estos exámenes se ofrecerán después del periodo correspondiente a las evaluaciones de los cursos de maestría y antes del inicio del siguiente semestre. Cuando el alumno no se presente a alguno de los exámenes disciplinarios al que se haya inscrito, recibirá una calificación de NP en el examen respectivo.

El protocolo de investigación será un documento completo, aprobado previamente por el comité tutor, y deberá contener y desarrollar los aspectos siguientes:

- Introducción, con el planteamiento del problema a resolver,
- Justificación sobre la originalidad del tema y su pertinencia en ciencia e ingeniería de materiales,
- Viabilidad del problema a resolver,
- Antecedentes amplios sobre el tema,
- Análisis de los antecedentes,
- Objetivos general y particulares,
- Metodología adecuada para la solución del problema a resolver,
- Infraestructura con la que se cuenta para desarrollar el trabajo de investigación,
- Resultados esperados,
- Referencias bibliográficas.

El examen de grado incluirá:

- La evaluación del aspirante, para identificar si tiene el perfil de un futuro doctor, con capacidad para proponer y desarrollar investigación científica relevante y original en el campo de la ciencia e ingeniería de materiales.
- Un interrogatorio general de conocimientos, a través del cual el alumno demostrará que domina el campo de conocimiento de su especialidad en lo concerniente a la solución de problemas científicos concretos.

### **2.7. Certificado complementario**

De acuerdo con lo establecido en el Artículo 9° del Reglamento General de Estudios de Posgrado, la Coordinación de Estudios de Posgrado de la UNAM expedirá un certificado complementario al grado de maestro, mismo que proporcionará una descripción de la naturaleza, nivel, contexto, contenido y estatus de los estudios concluidos por el alumno, facilitando el reconocimiento académico y profesional.

## **PLAN DE ESTUDIOS DEL DOCTORADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES**

### **2.8. Objetivo general del plan de estudios del Programa**

Formar científicos con sólidos conocimientos y experiencia en investigación, capaces de realizar contribuciones originales en ciencia e ingeniería de materiales, así como de formar grupos de investigación y recursos humanos de la más alta calidad.

### **2.9. Perfiles del Doctorado**

#### **2.9.1. Perfil de ingreso**

Los estudiantes que aspiran a ingresar al doctorado requieren:

- a) Tener vocación e interés por la investigación científica en alguna de las áreas de la ciencia o la ingeniería de los materiales,
- b) Estar comprometidos con una superación académica sólida,
- c) Estar comprometidos a dedicar tiempo completo para terminar sus estudios en los plazos establecidos en el plan de estudios,
- d) Tener los conocimientos necesarios, en el nivel de maestría sobre matemáticas, química y física, además de la capacidad para adquirir los contenidos previstos en el plan de estudios del doctorado,
- e) Haber obtenido un promedio mínimo de ocho en sus estudios de maestría, y
- f) Tener conocimientos amplios del idioma inglés.

#### **2.9.2. Perfiles intermedios**

En la primera etapa del doctorado, el alumno adquiere los conocimientos conceptuales en el campo de la ciencia e ingeniería de los materiales y en particular en el campo de conocimiento escogido, mediante la preparación y la presentación de los exámenes disciplinarios. En la segunda etapa el alumno inicia con su trabajo de investigación doctoral definiendo el tema de tesis y desarrollando un protocolo de investigación, culminando la etapa con la presentación de su examen de candidatura al grado de doctor. En la tercera y última etapa el alumno desarrolla su trabajo de tesis y el artículo(s) de investigación a publicar en una revista especializada de su campo de conocimiento.

#### **2.9.3. Perfil de egreso**

El egresado del doctorado tendrá un sólido conocimiento conceptual en ciencia e ingeniería de materiales, un conocimiento actualizado sobre las investigaciones científicas de su campo y un conocimiento profundo sobre su área de especialización. Lo anterior capacita al egresado para realizar proyectos de investigación, en el campo de la ciencia e ingeniería de los materiales, que le lleven a la aportación de conocimientos originales, el desarrollo de técnicas y estrategias para llegar a las soluciones idóneas de los problemas planteados y mostrar las aptitudes y habilidades para incorporarse a otros o nuevos campos del conocimiento. El campo de acción profesional de un egresado de doctorado será, principalmente, las universidades, institutos y centros donde se desarrollen investigaciones científicas y de docencia.

#### **2.9.4. Perfil de graduado**

Al obtener el grado el alumno estará preparado para desarrollar profesionalmente trabajos de investigación científica tanto en centros universitarios, como en centros de investigación públicos o privados y estará capacitado para:

- Identificar y plantear problemas de investigación significativos en su campo de conocimiento y aportar soluciones idóneas.
- Realizar investigación original, así como tomar decisiones para elegir entre diferentes estrategias de solución.
- Demostrar un conocimiento integral de los tópicos relacionados con su campo de investigación.
- Mantenerse actualizado en los temas de su campo de conocimiento, así como para incorporar información proveniente de nuevos campos.
- Organizar proyectos de investigación en su área de dominio realizando investigación original y de frontera.
- Participar en la formación de recursos humanos para la investigación.
- Comunicar e interpretar, tanto en forma oral como escrita, los resultados de la investigación científica.
- Impartir cursos de alto nivel en su campo de conocimiento y de temas especializados.

#### **2.10. Duración de los estudios**

El plan de trabajo que se debe desarrollar en el Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales se realizará en un plazo máximo de ocho semestres, hasta la obtención del grado, y abarcará el número de actividades académicas que se establezcan semestralmente entre el alumno y su tutor o tutores principales, con el aval, en su caso, del comité tutor. Los alumnos que hayan cumplido con todos los requisitos de permanencia podrán presentar el examen de grado doctoral antes de los ocho semestres. Se contempla el siguiente caso:

- Seis semestres para los alumnos que obtuvieron el grado de maestro en ciencia e ingeniería de materiales mediante el examen general de conocimientos.

#### **2.11. Estructura y organización del plan de estudios**

##### **2.11.1. Descripción general de la estructura y organización académica del plan**

El plan de estudios del doctorado está organizado en los cinco campos de conocimiento listados en la Sección 1.3, a saber: Materiales Cerámicos, Materiales Complejos, Materiales Electrónicos, Materiales Metálicos y Materiales Poliméricos. Las actividades académicas del doctorado se pueden dividir en tres grandes etapas. En la primera, el alumno se centra en la adquisición de conocimientos sólidos en ciencia e ingeniería de materiales, mediante la asistencia y aprobación de cursos, finalizando con la presentación de sus exámenes disciplinarios. En la segunda etapa, el alumno se inicia en la investigación científica escogiendo su tema de tesis doctoral, elaborando su proyecto de investigación para tesis doctoral y culminando con la presentación de su examen para la candidatura al grado de doctor. En la tercera etapa, el alumno se dedica al desarrollo de su proyecto de

investigación, la elaboración de un artículo de investigación referente a su trabajo de tesis, así como la escritura de su tesis doctoral, para la presentación de su examen de grado.

Bajo esta estructura del plan de estudios, se tienen dos grupos de estudiantes que ingresan al doctorado:

- a) Alumnos que provienen de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales, que obtuvieron el grado mediante tesis o reporte de investigación, y los graduados de otras maestrías afines.

Estos alumnos tendrán que realizar las actividades académicas mencionadas en las tres etapas mencionadas en el párrafo anterior. Como se menciona en las Normas Operativas del Programa, el Comité Académicos podrá validar un máximo de dos exámenes disciplinarios, en caso de que el alumno haya obtenido calificaciones excelentes en todas sus actividades académicas que hayan cursado durante la maestría.

- b) Alumnos que provienen de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales que obtuvieron el grado mediante el examen general de conocimientos.

Dado que estos alumnos ya presentaron sus exámenes disciplinarios y elaboraron su protocolo de investigación doctoral, les será validado el examen de candidatura al grado de doctor e iniciarán sus actividades a partir de las mencionadas en la tercera etapa.

### **2.11.2. Mecanismos de flexibilidad del plan de estudios**

Como un mecanismo para ampliar o coadyuvar al desarrollo de las actividades de investigación del trabajo de tesis doctoral, se pueden realizar estancias de investigación tanto en laboratorios de investigación nacionales, como extranjeros. Estas estancias de investigación podrán estar enmarcadas dentro de convenios de movilidad estudiantil o dentro de los acuerdos que realice el tutor principal con sus colaboradores nacionales o extranjeros y deberán ser aprobadas por el Comité Académico, a propuesta del alumno, con el visto bueno de su tutor principal y comité tutor.

### 2.11.3. Plan de trabajo de las actividades académicas

**Para alumnos egresados de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales por tesis o reporte de investigación o para alumnos provenientes de otras maestrías afines (máximo ocho semestres)**

<b>SEMESTRE</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
1 <sup>o</sup>	Aprobar dos exámenes disciplinarios y, a criterio del comité tutor, curso(s) de campo de conocimiento u optativo(s).
2 <sup>o</sup>	Aprobar dos exámenes disciplinarios y, a criterio del comité tutor, curso(s) de campo de conocimiento u optativo(s).
3 <sup>o</sup>	Planteamiento y elaboración de su proyecto de investigación para tesis de doctorado.
4 <sup>o</sup>	Investigación y presentación del examen de candidatura al grado de doctor.
5 <sup>o</sup>	Investigación
6 <sup>o</sup>	Investigación
7 <sup>o</sup>	Investigación, redacción y envío del artículo de investigación a publicar.
8 <sup>o</sup>	Investigación, redacción de la tesis y presentación del examen de grado.
<b>EXAMEN DE GRADO</b>	

*NOTA:* El Comité Académico podrá validar un máximo de dos exámenes disciplinarios en caso de que el alumno haya obtenido calificaciones excelentes en todas las actividades académicas cursadas durante la maestría.

**Para alumnos graduados de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales por examen general de conocimientos**

<b>SEMESTRE</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
1 <sup>o</sup>	Investigación y, a criterio del comité tutor, curso(s) de campo de conocimiento u optativo(s).
2 <sup>o</sup>	Investigación y, a criterio del comité tutor, curso(s) de campo de conocimiento u optativo(s).
3 <sup>o</sup>	Investigación y, a criterio del comité tutor, curso(s) de campo de conocimiento u optativo.
4 <sup>o</sup>	Investigación
5 <sup>o</sup>	Investigación, redacción y envío del artículo de investigación para su publicación.
6 <sup>o</sup>	Investigación, redacción de la tesis y presentación del examen de grado.
<b>EXAMEN DE GRADO</b>	

*NOTA:* Por ser alumnos que en la maestría aprobaron los cuatro exámenes disciplinarios y el protocolo de investigación, al ingresar al doctorado les serán validados los exámenes disciplinarios y el examen de candidatura al grado de doctor.

## **2.12. Requisitos**

### **2.12.1. Requisitos de ingreso**

Los alumnos graduados de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales, previa aprobación del Comité Académico, cuentan con el ingreso directo al Doctorado; que será válido durante los cuatro semestres siguientes a la conclusión de los estudios de maestría.

Los aspirantes al doctorado graduados de otras maestrías diferentes al de Ciencia e Ingeniería de Materiales se sujetarán al siguiente proceso de admisión:

- a) Presentación del examen de admisión que consta de:
  - Un examen de conocimientos previos, mismo que está basado en los temarios de los cursos propedéuticos.
  - Un examen psicopedagógico (habilidades y aptitudes), que aplica la Dirección General de Orientación Vocacional y Servicios Educativos.
- b) Entrevista personalizada con el Subcomité de Admisión y Becas.

Los aspirantes que aprueben el proceso de admisión ingresarán al doctorado y se les asignará un tutor principal inicial durante el primer semestre; obtendrán del Comité Académico la carta de aceptación.

### **2.12.2. Requisitos extracurriculares y prerrequisitos**

Como prerrequisito de ingreso se tiene que:

- Los aspirantes al doctorado deberán acreditar el examen de lectura y comprensión de textos en el idioma inglés mediante constancia expedida por el CELE, otro Centro de Idiomas de la UNAM u otra que a juicio del Comité Académico le sea suficiente.
- Los aspirantes cuya lengua materna no sea el español deberán demostrar el dominio de éste mediante una constancia de suficiencia del CEPE u otra que a juicio del Comité Académico sea suficiente.

Cursos Propedéuticos para Ingreso:

- Como apoyo al examen de admisión el posgrado ofrece cursos propedéuticos cuyo propósito es el de preparar a los aspirantes para el examen de ingreso y orientarlos hacia el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales.
- Los cursos propedéuticos son opcionales. El examen de conocimientos del examen general de admisión está basado en los temarios de los cursos propedéuticos.
- Los aspirantes que aprueben todos los cursos propedéuticos y que su promedio global sea de 8.0 o superior exentarán el examen de conocimientos previos.

### **2.12.3. Requisitos de permanencia**

Los alumnos del plan de estudios de doctorado deberán:

- Dedicar tiempo completo al plan de estudios. Sólo en casos que así lo justifiquen, el Comité Académico podrá autorizar la dedicación en tiempo parcial.

- Realizar y cumplir satisfactoriamente las actividades académicas que establezcan tanto el Comité Académico como su comité tutor en el plan de trabajo en los tiempos establecidos en el plan de estudios.
- Presentar, por escrito, a su comité tutor un informe semestral de las actividades académicas realizadas.
- Aprobado el examen del idioma inglés a nivel de traducción, mediante constancia expedida por el CELE, otro Centro de Idiomas de la UNAM u otra que a juicio del Comité Académico sea suficiente.
- Obtener de su comité tutor evaluaciones semestrales favorables. En caso de obtener una evaluación desfavorable, el Comité Académico analizará el caso y determinará las condiciones bajo las cuales el alumno puede continuar en el doctorado. Si el alumno obtiene una segunda evaluación desfavorable causará baja en el plan de estudios, de acuerdo con lo establecido en las normas operativas del Programa, el RGEP y los LGFP.
- Obtener la candidatura al grado de doctor en los plazos establecidos en el plan de estudios y normas operativas, en caso de que un alumno no apruebe dicho el examen de candidatura en una segunda vuelta será dado de baja del plan de estudios de acuerdo con lo establecido en las normas operativas de este Programa, en el RGEP y los LGFP
- Finalizar plan de trabajo en el tiempo establecido en el plan de estudios. En su caso, previo dictamen favorable del comité académico, el alumno podrá contar con plazo adicional de hasta dos semestres consecutivos para finalizar su plan de trabajo y graduarse, si aún así el alumno no se gradúa el Comité Académico, en casos excepcionales, podrá otorgar una prórroga para que el alumno se gradúe. Lo anterior de conformidad con lo establecido en las normas operativas de este Programa, en el RGEP y los LGFP.

#### **2.12.4. Requisitos de egreso**

El alumno deberá:

- a) Haber cursado y aprobado el 100% de las actividades académicas del plan de trabajo establecido con su tutor o tutores principales, avalado por el comité tutor;
- b) Haber obtenido la candidatura al grado de doctor;
- c) Haber realizado sus actividades complementarias;
- d) Contar con la acreditación del examen de inglés a nivel de traducción, mediante constancia expedida por el CELE, otro Centro de Idiomas de la UNAM u otra que a juicio del Comité Académico sea suficiente;
- e) Contar con un artículo de investigación publicado, o aceptado para su publicación, relacionado con su tesis doctoral;
- f) Contar con la tesis doctoral aceptada por su jurado de examen.

#### **2.12.5. Requisitos para cambio de inscripción de doctorado a la maestría**

Los alumnos del plan de estudios de doctorado, que no cuenten con el grado de Maestro en Ciencia e Ingeniería de Materiales de la UNAM, que deseen cambiarse al plan de estudios de maestría podrán hacerlo mediante la aprobación del Comité Académico, a propuesta de

su comité tutor. En el documento de aprobación se definirá el número de créditos válidos para la maestría.

Asimismo, deberán cumplir con los requisitos enunciados en las normas operativas de este Programa.

#### **2.12.6. Requisitos para obtener la candidatura al grado de Doctor**

De acuerdo con el Artículo 30 del Reglamento General de Estudios de Posgrado:

“Se considera que un alumno es candidato al grado de doctor cuando demuestre que cuenta con una sólida formación académica y capacidad para la investigación. El procedimiento y el plazo para obtener la candidatura deberán quedar definidos en las normas operativas.

Cuando la evaluación para la candidatura al grado resulte negativa, el comité académico podrá autorizar una segunda y última evaluación, la que deberá realizarse en un plazo no mayor a un año. En caso de una segunda evaluación negativa, el alumno será dado de baja del plan de estudios.”

Para obtener la candidatura al grado de doctor se requiere:

Haber aprobado los exámenes disciplinarios;

Presentar por escrito un protocolo de investigación para tesis de doctorado, en el que deberán desarrollarse los siguientes rubros:

- Introducción, incluyendo el planteamiento del problema a resolver,
- Justificación sobre la originalidad del tema y su pertinencia en ciencia e ingeniería de materiales,
- Viabilidad del problema a resolver
- Antecedentes amplios sobre el tema,
- Análisis de los antecedentes,
- Objetivos general y particulares,
- Metodología adecuada para la solución del problema a resolver,
- Infraestructura disponible para el desarrollo del trabajo de investigación,
- Resultados esperados.
- Referencias

El examen de candidatura al grado de doctor será oral e incluirá:

- La evaluación del aspirante a candidato a doctor, para identificar si tiene el perfil de un futuro doctor, con capacidad para proponer y desarrollar investigación científica relevante y original en el campo de la ciencia e ingeniería de materiales.
- Un interrogatorio general de conocimientos, en el cual el alumno deberá demostrar que domina el campo de conocimiento de su especialidad en la solución de problemas científicos concretos.

#### **2.12.7. Requisitos para obtener el grado**

Para presentar el examen de grado de doctor el alumno requiere:

- Haber aprobado los exámenes disciplinarios correspondientes.

- Haber cubierto la totalidad de las actividades académicas señaladas por su comité tutor en su plan de trabajo.
- Haber aprobado el examen de candidatura al grado de doctor.
- Haber elaborado una tesis doctoral basada en los resultados de las investigaciones realizadas en el desarrollo de su proyecto de tesis doctoral.
- Haber publicado, o tener la carta de aceptación para su publicación de, al menos un artículo de investigación, en el que el alumno es primer autor, en una revista especializada, de prestigio y circulación internacional y que cuente con arbitraje. El o los artículos deberá(n) tener como tema central el realizado en su tesis doctoral.
- Presentar y aprobar el Examen de Grado, que consistirá en la defensa oral de la tesis doctoral ante un jurado nombrado por el Comité Académico.

### **2.13. Certificado complementario**

De acuerdo con lo establecido en el Artículo 9º del Reglamento General de Estudios de Posgrado, la Coordinación de Estudios de Posgrado de la UNAM expedirá un certificado complementario al grado de doctor, mismo que proporcionará una descripción de la naturaleza, nivel, contexto, contenido y estatus de los estudios concluidos por el alumno, facilitando el reconocimiento académico y profesional.



### **3. NORMAS OPERATIVAS DEL PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES**

#### **Disposiciones generales**

**Norma 1.** Las presentes normas tienen por objeto regular la operación del Programa de Posgrado de Ciencia e Ingeniería de Materiales.

**Norma 2.** El Comité Académico será el responsable de la aplicación de estas normas operativas, de conformidad con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado y en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado.

#### **De las entidades académicas**

**Norma 3.** Son entidades académicas participantes del Programa las siguientes:

- a) Facultad de Ciencias;
- b) Facultad de Ingeniería;
- c) Facultad de Química;
- d) Instituto de Física;
- e) Instituto de Investigaciones en Materiales;
- f) Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico;
- g) Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada;
- h) Centro de Investigación en Energía;
- i) Centro de Nanociencias y Nanotecnología.

**Norma 4.** De acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado y en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado, las entidades académicas que deseen incorporarse en el Programa deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Compartir la filosofía del Programa en lo que se refiere a objetivos, estándares académicos y mecanismos de funcionamiento;
- b) Contar con un mínimo de 8 académicos de carrera acreditados como tutores de doctorado en el Programa;
- c) Desarrollar líneas de investigación y/o trabajo, afines al Programa;
- d) Contar con la infraestructura adecuada para la investigación, las actividades docentes y de tutoría, a juicio del Comité Académico, y ponerla a disposición para su uso por alumnos, tutores y profesores del Programa;
- e) Suscribir, a través de la firma del director, las bases de colaboración de las entidades académicas participantes en el Programa;
- f) Contar con líneas de investigación consolidadas dentro de los campos de conocimiento del programa, a juicio del Comité Académico, y
- g) Aceptar y comprometerse con los objetivos y la normatividad del programa.

**Norma 5.** De acuerdo con lo establecido en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado, los consejos técnicos, internos o directores de dependencias y programas universitarios solicitarán al Comité Académico la incorporación de su entidad académica en este Programa. Asimismo, enviarán copia de dicha solicitud al Consejo de Estudios de Posgrado para su conocimiento y seguimiento.

El Comité Académico deberá emitir un dictamen al respecto en un plazo no mayor a 20 días hábiles, contados a partir de la fecha de recepción de la solicitud. En caso de emitirse un dictamen favorable, el Comité Académico propondrá la incorporación de la entidad académica al Consejo de Estudios de Posgrado, quien turnará su opinión al Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías para su aprobación, en su caso.

Corresponderá al Consejo Académico de Área informar sobre el dictamen emitido al Consejo de Estudios de Posgrado y a la Dirección General de Administración Escolar.

Las instituciones externas a la UNAM, nacionales o extranjeras, podrán incorporarse a este Programa siempre y cuando existan convenios con la UNAM, y deberán seguir el procedimiento antes descrito.

**Norma 6.** De acuerdo con lo establecido en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado las entidades académicas, podrán ser desincorporadas de este Programa a solicitud de su consejo técnico, interno o de su director, en su caso. Los consejos técnicos, internos o directores de dependencias y programas universitarios solicitarán al Comité Académico la desincorporación de su entidad académica en este Programa. Asimismo, enviarán copia de dicha solicitud al Consejo de Estudios de Posgrado para su conocimiento y seguimiento.

El Comité Académico deberá emitir un dictamen al respecto en un plazo no mayor a 20 días hábiles, contados a partir de la fecha de recepción de la solicitud. En caso de emitirse un dictamen favorable, el Comité Académico propondrá la desincorporación de la entidad académica al Consejo de Estudios de Posgrado, quien turnará su opinión al Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías para su aprobación, en su caso.

Corresponderá al Consejo Académico de Área informar sobre el dictamen emitido al Consejo de Estudios de Posgrado y a la Dirección General de Administración Escolar.

### **Del Comité Académico**

**Norma 7.** El Comité Académico estará integrado por:

- a) Los directores de las entidades académicas participantes, señaladas en la norma 3, podrán ser representados por un académico que de preferencia sea tutor de posgrado o posea estudios de posgrado;
- b) El Coordinador del Programa;
- c) Un académico de carrera de cada entidad académica participante, acreditado como tutor, y electo por los tutores de la misma por medio de voto libre, secreto y directo en elección presencial o electrónica;
- d) Un académico de carrera acreditado como tutor de cada campo de conocimiento que comprende el Programa, electos por los tutores del mismo por medio de voto libre, secreto y directo en elección presencial o electrónica, y
- e) Dos alumnos electos por los alumnos del Programa por medio de voto libre, secreto y directo en elección presencial o electrónica.

El Comité Académico cuenta con los siguientes subcomités:

- a) Subcomité de Actividades Académicas, Tutores y Alumnos.
- b) Subcomité de Admisión y Becas.
- c) Subcomité de Difusión, Estancias e Intercambio Académico.

Cada subcomité se integrará con representantes del Comité Académico y podrán ser rotados periódicamente a juicio del mismo.

#### **Subcomité de Actividades Académicas, Tutores y Alumnos**

- a) Apoyar al Coordinador del Programa en la organización de las actividades académicas que se imparten cada semestre;
- b) Promover la apertura de nuevas actividades académicas optativas en campos emergentes;
- c) Revisar los temarios de las actividades académicas cada dos años;
- d) Analizar las solicitudes de nuevos tutores;
- e) Revisar periódicamente la lista de tutores y proponer al Coordinador del Programa su actualización;
- f) Revisar las solicitudes de carácter académico de los alumnos y tutores;
- g) Proponer al Comité Académico la integración de jurados para los exámenes disciplinarios;
- h) Revisar la propuesta del alumno y del comité tutor para la integración del jurado de los exámenes de candidatura y de grado, y turnar su opinión al Comité Académico para su resolución; y
- i) Otras que designe el Comité Académico.

#### **Funciones del Subcomité de Admisión y Becas**

- a) Analizar las solicitudes de ingreso de los aspirantes al programa;
- b) Realizar las entrevistas a los aspirantes;
- c) Informar al Comité Académico los dictámenes de admisión correspondientes;
- d) Analizar las solicitudes de becas de los alumnos;
- e) Proponer el orden prioritario de las solicitudes de beca;

- f) Organizar los cursos propedéuticos;
- g) Actualizar los mecanismos de admisión al programa, incluyendo los exámenes de admisión;
- h) Mantener y mejorar los proyectos y vínculos para asegurar el otorgamiento de becas para los alumnos;
- i) Otras que designe el Comité Académico.

**Subcomité de Difusión, Estancias, e Intercambio académico**

- a) Proponer y revisar las propuestas de convenios de colaboración académica para la realización de las estancias de investigación de los alumnos en laboratorios de investigación tecnológica, industrial y aplicada, y para la realización de estancias sabáticas, estancias posdoctorales e intercambio de académicos;
- b) Mantener y mejorar los proyectos, convenios y colaboraciones para la asistencia de los alumnos a eventos científicos de calidad;
- c) Preparar las actividades y material de difusión del programa (trípticos, carteles, videos, presentaciones, páginas Web, etc.);
- d) Realizar la difusión del programa en todos los foros pertinentes
- e) Otras que designe el Comité Académico.

**Norma 8.** De acuerdo con lo establecido en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado, los requisitos para ser representante de los académicos de maestría y doctorado en el Comité Académico son:

- a) Estar acreditado como tutor del Programa;
- b) Ser académico de carrera en la UNAM, o en otra institución con la cual la UNAM haya celebrado un convenio de colaboración para el desarrollo del Programa; y
- c) No haber cometido faltas graves contra la disciplina universitaria, que hubiesen sido sancionadas.

De igual forma, los requisitos para ser representante de los alumnos de maestría y doctorado en el Comité Académico son:

- a) Estar inscrito en el Programa en el momento de la elección;
- b) Haber cubierto al menos un semestre lectivo, según lo establecido en el plan de estudios;
- c) Haber acreditado todas las actividades académicas en que se haya inscrito, y contar con promedio mínimo de ocho, en el caso de alumnos de maestría;
- d) Haber sido evaluado positivamente por el comité tutor en todos los semestres que haya cursado, en el caso de alumnos de doctorado; y
- e) No haber cometido faltas graves contra la disciplina universitaria, que hubiesen sido sancionadas.

Los representantes de los académicos y de los alumnos durarán en su cargo dos años y podrán ser reelectos de manera consecutiva por un periodo adicional.

La convocatoria, supervisión y calificación de las elecciones se regirá por el artículo 41 del Reglamento General de Estudios de Posgrado, y los artículos 42, 43 y 44 de Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado.

**Norma 9.** El Comité Académico tendrá las siguientes atribuciones y responsabilidades, de acuerdo con lo establecido en:

A. El Reglamento General de Estudios de Posgrado:

- a) Proponer conjuntamente con otros comités académicos la constitución de una Orientación Interdisciplinaria de Posgrado al Consejo de Estudios de Posgrado para la evaluación de dicha orientación, y en su caso, la aprobación;
- b) Solicitar la opinión del Consejo de Estudios de Posgrado y, en su caso, del Consejo Asesor de la Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia o de la Comisión Académica del Sistema de Universidad Abierta, respecto de las modificaciones al o los planes de estudio de educación abierta y a distancia, para ser turnados a los consejos académicos de área correspondientes;
- c) Proponer al Consejo de Estudios de Posgrado la incorporación o desincorporación de una entidad académica, un programa universitario o dependencia de la UNAM en un programa de posgrado;
- d) Organizar la evaluación integral del Programa, al menos cada cinco años, e informar de los resultados al Consejo de Estudios de Posgrado;
- e) Aprobar la actualización de los contenidos temáticos de las actividades académicas;
- f) Elaborar, modificar y aprobar las normas operativas del Programa, previa opinión del Consejo de Estudios de Posgrado, así como vigilar su cumplimiento;
- g) Establecer las bases de colaboración entre las entidades académicas, la Coordinación de Estudios de Posgrado y el Programa;
- h) Promover acciones de vinculación y cooperación académica con otras instituciones;
- i) Informar al Consejo de Estudios de Posgrado la formalización de convenios de colaboración con otras instituciones;
- j) Promover solicitudes de apoyo para el Programa;
- k) Establecer los subcomités que considere adecuados para el buen funcionamiento del Programa;
- l) En casos excepcionales y debidamente fundamentados, aprobar, de acuerdo con lo que establezcan los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado, la dispensa de grado a probables tutores, profesores o sinodales de examen de grado, y
- m) Las demás que se establecen en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, la Legislación Universitaria y aquellas de carácter académico no previstas en estas normas.

B. Los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado:

- a) Decidir sobre el ingreso, permanencia y prórroga de los alumnos en el Programa, así como los cambios de inscripción de maestría a doctorado, o viceversa, tomando en cuenta la opinión del tutor o tutores principales o del comité tutor.

En este último caso, el Comité Académico dará valor en créditos a las actividades académicas cursadas en el doctorado y hará las equivalencias correspondientes tomando en cuenta la propuesta del comité tutor;

- b) Aprobar la asignación, para cada alumno, del tutor o tutores principales y en su caso, del comité tutor;
- c) Nombrar al jurado de los exámenes de grado y de candidatura tomando en cuenta la propuesta del alumno, del tutor o tutores principales y del comité tutor;
- d) Decidir sobre las solicitudes de cambio de tutor o tutores principales, comité tutor o jurado de examen de grado;
- e) Aprobar la incorporación y permanencia de tutores, solicitar al Coordinador del Programa la actualización periódica del padrón de tutores acreditados en el Programa y vigilar su publicación semestral, para información de los alumnos;
- f) Designar, a propuesta del Coordinador del Programa a los profesores y, en su caso, recomendar su contratación al consejo técnico respectivo;
- g) Dirimir las diferencias de naturaleza académica que surjan entre el personal académico, entre los alumnos o entre ambos, derivadas de la realización de las actividades académicas del Programa;
- h) Evaluar y otorgar, en casos de excepción, la dispensa de grado de especialista, maestro o doctor a probables tutores, profesores y sinodales de examen de grado;
- i) Actualizar y promover el uso de sistemas para el manejo de información académico-administrativa de los programas de posgrado; y
- j) Las demás que se establezcan en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado o en estas normas.

Adicionalmente:

- a) Designar a los integrantes de cada subcomité permanente y, en su caso, de los subcomités especiales que considere pertinente establecer;
- b) Aprobar, a propuesta del Coordinador del Programa, la oferta semestral de los cursos, seminarios y demás actividades académicas;
- c) Definir y revisar periódicamente los campos de conocimiento;
- d) Revisar la propuesta de actualización al contenido de las actividades académicas básicas enviadas por el subcomité correspondiente;
- e) Revisar la propuesta de actualización al contenido de las actividades académicas de campos de conocimiento y optativas;
- f) Evaluar el desempeño de profesores y tutores del programa;
- g) Aprobar los temas de tesis de doctorado y maestría, a propuesta del comité tutor;
- h) Decidir sobre las solicitudes de cambio de tema de tesis de maestría y cambio de proyecto de tesis doctoral;
- i) Decidir sobre las solicitudes para la realización de estudios o actividades complementarias dentro o fuera de la UNAM;
- j) Revisar las evaluaciones semestrales de los alumnos enviadas por los comités tutores y con base en éstas, decidir sobre la permanencia de los alumnos en el programa;
- k) Conocer, buscar, proponer y promover entidades o instituciones donde se puedan realizar las estancias de investigación;

- l) Decidir sobre las instancias que puedan certificar el conocimiento del idioma inglés de los alumnos de maestría y de doctorado;
- m) Decidir sobre las instancias que puedan certificar el dominio del español de los alumnos del posgrado cuya lengua materna no sea el español;
- n) Definir, para cada alumno que haya ingresado al doctorado después de concluir una maestría o que haya cambiado su adscripción de la maestría al doctorado del presente programa, en qué semestre deberá presentar su examen de candidatura al grado de doctor, y
- o) Aprobar que un alumno del posgrado, a solicitud razonada de éste y con el aval de su tutor principal, pueda cursar actividades académicas de otros programas de posgrado de la UNAM, cuando considere que éstas son adecuadas para la formación del alumno en su área de especialidad.

**Norma 10.** Los integrantes del Comité Académico tienen las siguientes atribuciones y responsabilidades:

- a) Asistir a las sesiones del Comité previa convocatoria expresa del Coordinador del Programa;
- b) Vigilar el cumplimiento de la normatividad establecida en el Programa, en el Reglamento General de Estudios de Posgrado y en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado;
- c) Estudiar y dictaminar las propuestas académicas y operativas que sean presentadas al Comité por el Coordinador del Programa, por un subcomité o por un integrante del Comité Académico;
- d) Participar, en su caso, en las sesiones de trabajo del subcomité del cual formen parte;
- e) Cumplir con las obligaciones inherentes a su representación como integrantes del Comité Académico y del subcomité en el que participen; y
- f) En el caso de los representantes de los directores de las entidades académicas participantes, ser además un canal de comunicación con la entidad académica correspondiente, con el fin informar sobre los acuerdos y resoluciones tomadas en el Comité Académico del Programa.

#### **De la permanencia de los representantes del Comité Académico**

Los representantes de los académicos y de los alumnos en el Comité Académico podrán ser suspendidos definitivamente como representantes en los siguientes casos:

- a) Por dejar de asistir, sin causa justificada o sin autorización previa del Comité, a más de tres sesiones consecutivas o al 50 por ciento de las que realicen en un año el pleno y los subcomités a los que se le asigne;
- b) Por el incumplimiento de las tareas encomendadas por el Comité;
- c) Cuando un representante incurra en alguno de estos supuestos, el Coordinador del Programa pondrá el asunto a consideración del pleno, para que en su caso, éste integre una comisión especial, la cual notificará al afectado, concediéndole un plazo de diez días hábiles posteriores a la notificación, para que si lo estima conveniente manifieste por escrito lo que a su derecho convenga. Al recibir la

respuesta del representante o transcurrido el plazo previsto sin haberla recibido, la comisión especial examinará el caso y enviará al pleno una propuesta de dictamen, para que éste decida lo procedente;

- d) Para tomar decisiones en estos casos, se requerirá la aprobación de la mayoría del total de miembros del Comité Académico; y
- e) En el caso de baja o renuncia de un representante, el Comité Académico tomará las medidas conducentes para que se siga el procedimiento para la elección de un sustituto o se nombre un interino hasta que se renueve la representación de alumnos y tutores, a juicio del Comité Académico.

**Norma 11.** El Comité Académico tendrá la siguiente mecánica operativa:

- a) Efectuará sesiones ordinarias cada 30 días y extraordinarias cuando lo juzgue conveniente el Coordinador del Programa, de acuerdo con las incidencias o eventos de apoyo al Programa;
- b) También habrá sesiones extraordinarias cuando lo solicite al menos un tercio de los integrantes del Comité Académico. En este caso, los interesados presentarán una solicitud firmada y por escrito al Coordinador del Programa, en la que deberá indicarse el asunto o asuntos-materia de la convocatoria, y si ésta no se expide en el término de cinco días hábiles, podrá lanzarla directamente el grupo solicitante;
- c) El Coordinador del Programa convocará a las sesiones y hará llegar a los miembros del Comité Académico e invitados, el orden del día y el material que se considere pertinente, con al menos tres días hábiles de anticipación a la fecha de las sesiones ordinarias y un día hábil antes, en el caso de las extraordinarias;
- d) El Coordinador del Programa levantará el acta respectiva de cada una de las sesiones y la enviará vía correo electrónico a los miembros del Comité Académico a más tardar en siete días hábiles después de celebrada la sesión;
- e) Las observaciones al acta deberán hacerlas llegar al Coordinador del Programa en cinco días hábiles posterior a su recepción; de lo contrario se considerará que no existen observaciones (*afirmativa ficta*);
- f) El acta definitiva será presentada en la sesión posterior para su aprobación;
- g) Para cada sesión el Coordinador del Programa convocará por primera y segunda vez en un mismo citatorio, debiendo mediar un mínimo de 15 y un máximo de 30 minutos entre las horas fijadas para primera y segunda convocatorias. Para realizar la sesión en primera convocatoria se requerirá la mitad más uno de los miembros con voz y voto, en tanto que en segunda convocatoria la sesión se realizará con los miembros presentes;
- h) Las sesiones ordinarias y extraordinarias no deberán exceder de dos horas contadas a partir de que se inicie formalmente la reunión. Cuando no se termine de desahogar los asuntos del orden del día en el plazo anterior, el Coordinador del Programa pedirá al pleno su aprobación (por mayoría de votos de sus miembros presentes) para constituirse en sesión permanente o para posponer los asuntos faltantes para una sesión extraordinaria;
- i) Cuando el Comité Académico lo juzgue pertinente podrá invitar a las sesiones a los responsables de estudios de posgrado de las entidades académicas participantes en el Programa, así como a otros académicos o invitados especiales, quienes asistirán con voz pero sin voto;

- j) Los acuerdos del Comité Académico serán tomados por mayoría simple y las votaciones serán abiertas, a menos que el Coordinador del Programa o la mayoría de los miembros presentes del Comité pidan que sean secretas; y
- k) Sólo tendrán derecho a votar los miembros titulares con voz y voto presentes. En ningún caso serán computados los votos de los miembros ausentes aún si los presentaran por escrito. En caso de empate, el Coordinador tendrá voto de calidad.

### **Del Coordinador del Programa**

**Norma 12.** De acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Coordinador del Programa será designado o removido por el Rector, a propuesta de los directores de las entidades académicas participantes, quienes auscultarán la opinión del Comité Académico y del cuerpo de tutores, durará en su cargo tres años y podrá ser designado sólo para un periodo adicional.

En ausencia del Coordinador del Programa por un periodo mayor de dos meses se procederá a designar uno nuevo, en los términos señalados anteriormente. El tutor del Comité Académico con mayor antigüedad en la UNAM asumirá interinamente las funciones de Coordinador del Programa en tanto se designa al nuevo.

**Norma 13.** Los requisitos para ser Coordinador del Programa, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado son:

- a) Poseer al menos el grado máximo que otorgue el Programa; en casos justificados este requisito podrá ser dispensado;
- b) Estar acreditado como tutor del Programa;
- c) Ser académico titular de tiempo completo de la UNAM; y
- d) No haber cometido faltas graves contra la disciplina universitaria, que hubiesen sido sancionadas.

**Norma 14.** El Coordinador del Programa tendrá las siguientes atribuciones y responsabilidades, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado:

- a) Convocar y presidir las reuniones del Comité Académico; en su ausencia, las sesiones serán presididas por el tutor del Comité Académico de mayor antigüedad en la UNAM;
- b) Elaborar el plan anual de trabajo del Programa, desarrollarlo una vez aprobado por el Comité Académico y presentarle a éste un informe anual, el cual deberá ser difundido entre los académicos del Programa;
- c) Proponer semestralmente al Comité Académico los profesores del Programa;
- d) Coordinar las actividades académicas y organizar los cursos del Programa;
- e) Coordinar el proceso de evaluación integral del Programa;

- f) Representar al Comité Académico del Programa, en la formalización de los convenios y bases de colaboración, en los que pueden participar entidades académicas;
- g) Atender los asuntos no previstos en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, que afecten el funcionamiento del Programa y, en su momento, someterlos a la consideración del Comité Académico;
- h) Vigilar el cumplimiento de la legislación aplicable, los acuerdos emanados de las autoridades universitarias, del Comité Académico, y de las disposiciones que norman la estructura y funciones de la UNAM; y
- i) Otras que defina el Consejo de Estudios de Posgrado en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado o que estén contenidas en estas normas operativas.

Adicionalmente:

- a) Vigilar el cumplimiento de los objetivos, procedimientos y políticas académicas establecidas en el Programa;
- b) Administrar los recursos humanos, materiales y financieros del Programa;
- c) Presentar al Comité Académico propuestas de solución para cualquier situación académica no prevista en el Programa, en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado o la Legislación Universitaria;
- d) Coordinar el funcionamiento de los subcomités permanentes establecidos, e informar al pleno del Comité Académico las consideraciones y propuestas que emanen de dichos subcomités;
- e) Impulsar en forma integral la promoción del programa dentro y fuera de la UNAM;
- f) Promover y coordinar las modalidades y estilo propio de vida académica del programa en sus diversas actividades (congresos, foros, seminarios, etc.);
- g) Coordinar las actividades de los profesores visitantes del programa de posgrado y
- h) Cualquier otra que derive de los acuerdos y resoluciones del Comité Académico o de las opiniones, disposiciones y recomendaciones del Consejo de Estudios de Posgrado.

### **De los procedimientos y mecanismos de ingreso para maestría y doctorado**

**Norma 15.** El Comité Académico emitirá la convocatoria a primer ingreso al Programa la cual será semestral, sin embargo podrá modificar la periodicidad de la misma.

**Norma 16.** De conformidad con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado y en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado para ingresar al Programa los aspirantes deberán:

- a) Cubrir los requisitos previstos en el plan de estudios;

- b) Recibir la carta de aceptación otorgada por el Comité Académico del Programa, y
- c) Formalizar la inscripción en la Unidad de Administración del Posgrado de la Dirección General de Administración Escolar.

Asimismo, deberán sujetarse al siguiente procedimiento de ingreso:

- a) Solicitar su ingreso en los tiempos en que señale la convocatoria;
- b) Entregar dentro del periodo que marque la convocatoria de ingreso y el calendario de actividades del Programa los documentos requeridos;
- c) En su caso, asistir a los cursos propedéuticos;
- d) Someterse a los exámenes (conocimientos previos, habilidades y aptitudes) requeridos para ingresar al plan de estudios.

Para el caso de maestría los aspirantes que aprueben todos los cursos propedéuticos y que su promedio global sea igual o superior a 8.0 se le dispensará el examen de conocimientos previos, y para el caso de doctorado hay dos maneras de dispensar los exámenes: 1) haberse graduado en la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales (siempre y cuando no hayan trascurrido más de 4 semestres después de haber concluido sus estudios de maestría) y 2) al igual que en la maestría los aspirantes que aprueben todos los cursos propedéuticos y que su promedio global sea de 8.0 o superior se les dispensará del examen de conocimientos;

- e) Asistir a la entrevista personalizada con el Subcomité de Admisión y Becas, y
- f) Inscribirse en la Unidad de Administración del Posgrado de la Dirección General de Administración Escolar, en los tiempos establecidos por el Comité Académico.

**Norma 17.** La recopilación e integración de la información referente al proceso de admisión y su entrega al Comité Académico para la decisión final, será responsabilidad del Coordinador del Programa.

El Comité Académico, tomando en cuenta los resultados de la evaluación global del aspirante emitirá las cartas de aceptación o rechazo correspondientes. El Coordinador del Programa informará sobre los resultados a los interesados.

Los aspirantes que no fueron aceptados a ingresar a algún plan de estudios del Programa tendrán una segunda y última oportunidad para solicitarlo en el siguiente periodo de admisión.

### **De los procedimientos y mecanismos para la permanencia y evaluación global de los alumnos de maestría y doctorado**

**Norma 18.** El desempeño académico de cada alumno de maestría y de doctorado deberá ser evaluado integralmente cada semestre por su comité tutor. Para la evaluación se tomará en cuenta el plan individual o de trabajo del alumno aprobado al inicio del semestre por su comité tutor.

Dichas evaluaciones deberán ser presentadas al Comité Académico de acuerdo con los formatos que establezca, el cual acordará lo conducente respecto a su permanencia en el Programa.

**Norma 19.** De acuerdo con lo señalado en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Comité Académico determinará las condiciones bajo las cuales un alumno puede permanecer inscrito en el plan de estudios correspondiente cuando reciba una evaluación semestral desfavorable de su comité tutor.

Si el alumno obtiene una segunda evaluación semestral desfavorable causará baja en el plan de estudios.

De ser el caso, en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado se establece, que el Comité Académico notificará al alumno su *baja del plan de estudios* y enviará copia de la notificación al comité tutor. El alumno que se vea afectado por esta disposición podrá, dentro de un plazo de cinco días hábiles, a partir de la fecha de haberle sido comunicada por escrito la resolución, solicitar la reconsideración de su baja ante el Comité Académico. El alumno deberá argumentar por escrito las razones que justifican su solicitud.

El Comité Académico tomará en cuenta las opiniones del comité tutor, para emitir un dictamen justificado, en un lapso no mayor a 10 días hábiles, el cual será inapelable. Si el dictamen resulta favorable, el alumno deberá cubrir, en su caso, las condiciones señaladas por el cuerpo colegiado. En el caso de que un dictamen favorable sea emitido después del periodo de inscripción, el Comité Académico autorizará la inscripción extemporánea.

**Norma 20.** De acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, si el alumno se inscribe dos veces en una misma actividad académica sin acreditarla, causará *baja del plan de estudios correspondiente*.

De ser el caso, los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado señalan que: El Comité Académico notificará al alumno su *baja del plan de estudios* y enviará copia de la notificación al comité tutor. El alumno que se vea afectado por esta disposición podrá, dentro de un plazo de cinco días hábiles, a partir de la fecha de haberle sido comunicada por escrito la resolución, solicitar la reconsideración de su baja ante el Comité Académico. El alumno deberá argumentar por escrito las razones que justifican su solicitud. El Comité Académico tomará en cuenta igualmente las opiniones del comité tutor.

El Comité Académico, emitirá un dictamen justificado, en un lapso no mayor a diez días hábiles, el cual será inapelable. Si el dictamen resulta favorable, el alumno deberá cubrir, en su caso, las condiciones señaladas por el cuerpo colegiado. En el caso de que un dictamen favorable sea emitido después del periodo de inscripción, el Comité Académico autorizará la inscripción extemporánea.

**Norma 21.** De acuerdo a lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Comité Académico podrá otorgar un plazo adicional de dos semestres consecutivos.

Si el alumno no obtiene el grado en los plazos establecidos en el plan de estudios, podrá solicitar al Comité Académico un plazo adicional de hasta dos semestres consecutivos con el fin de concluir el plan de estudios, así como la totalidad de los créditos y graduarse para los alumnos de maestría; o de concluir el plan de trabajo, así como las actividades académicas y graduarse para alumnos de doctorado. Dicha solicitud deberá contar con el aval del comité tutor. En caso de que no obtenga el grado en el plazo anteriormente descrito, el Comité Académico decidirá si procede la *baja definitiva del plan de estudios*. En casos excepcionales, el Comité Académico podrá autorizar una prórroga con el único fin de que los alumnos obtengan el grado, previa solicitud del alumno.

#### **De los exámenes disciplinarios y de los jurados de exámenes disciplinarios**

**Norma 22.** Los exámenes disciplinarios son una parte fundamental del plan de estudios de doctorado ya que tienen la finalidad de evaluar la preparación del alumno en las actividades académicas consideradas básicas en su formación. Los exámenes disciplinarios se pueden presentar durante los estudios de maestría o durante el doctorado. Estos exámenes se basan en los temarios de las actividades académicas básicas y se aplican cada semestre

Los exámenes disciplinarios serán elaborados, aplicados y calificados por un Jurado de Exámenes Disciplinarios. En el jurado preferentemente participarán los profesores que hayan impartido las actividades académicas básicas respectivas. Los temas y el nivel de los exámenes se basarán en el temario y en la bibliografía básica seleccionada para cada actividad académica. Los exámenes se presentarán por escrito.

El Jurado de Exámenes Disciplinarios será nombrado por el Comité Académico y se integrará con tres sinodales para cada actividad académica, todos miembros del cuerpo de tutores.

Los alumnos de maestría que opten por presentar exámenes disciplinarios y que no aprueben alguno de éstos tendrán una segunda y última oportunidad al siguiente semestre. En caso de que no lo aprueben en segunda oportunidad deberán obtener el grado de maestría en las modalidades de tesis o reporte de investigación.

El alumno de doctorado que requiere presentar exámenes disciplinarios y que no apruebe alguno de éstos, podrá solicitar al Comité Académico presentar el mismo examen disciplinario por segunda y última oportunidad al siguiente semestre. En el caso específico de que el alumno repruebe dos exámenes disciplinarios en un mismo semestre tendrá una evaluación semestral desfavorable. Cuando un alumno no apruebe en segunda oportunidad un examen disciplinario tendrá una segunda evaluación semestral desfavorable y será dado de baja del plan de estudios de doctorado.

De tal manera, los alumnos que al inicio del cuarto semestre no cuenten con los cuatro exámenes disciplinarios ya aprobados serán dados de baja del plan de estudios.

El aspirante al doctorado tiene la opción de presentar exámenes disciplinarios antes de su ingreso al doctorado, los que le serán contabilizados y reconocidos como aprobados o no aprobados, según sea el resultado.

El Comité Académico podrá validar un máximo de tres exámenes disciplinarios al alumno que haya cursado la maestría en el PCeIM y que lo solicite bajo los siguientes criterios: 1) Cuando la calificación de la materia o materias a revalidar sea igual o mayor a nueve, y 2) Cuando el alumno haya obtenido un promedio final de nueve, o mayor, durante sus estudios de maestría.

La validación de uno o más exámenes disciplinarios se tendrá que hacer en el primer semestre. Esta validación no exime al alumno de la presentación de al menos un examen disciplinario en el mismo primer semestre. Esto último en caso de no contar aun con los cuatro disciplinarios acreditados.

### **Del procedimiento para la obtención de la candidatura al grado de doctor**

**Norma 23.** Aprobar el examen de candidatura al grado de doctor es un requisito previo indispensable para la obtención del grado de doctor, el cual se presentará a más tardar en el transcurso del cuarto semestre:

Los objetivos del examen son analizar:

- a) La viabilidad y la relevancia del proyecto de tesis de doctorado; y
- b) La formación académica y el conocimiento del alumno en su campo de estudio.

A los alumnos de doctorado que se graduaron de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales por la modalidad examen general de conocimientos se les reconocerá como examen de candidatura al grado de doctor siempre y cuando el tema de investigación que realicen en el doctorado sea el mismo que presentaron en el protocolo de investigación.

Lo anterior tomando en cuenta que el examen de graduación por la modalidad de examen general de conocimientos en la Maestría es similar al de candidatura al grado de doctor.

**Norma 24.** El jurado de examen de candidatura al grado de doctor estará integrado por cinco tutores, todos relacionados con el campo de investigación del proyecto de tesis del alumno. Para la integración del jurado se considerarán los siguientes aspectos:

- a) Se propiciará la participación de miembros de más de una entidad académica participante;
- b) El Comité Académico procurará que un sinodal sea externo a la UNAM;
- c) Los sinodales deberán estar acreditados como tutores de doctorado en el Programa, en otros programas de posgrado de la UNAM o de otras instituciones nacionales o extranjeras, con las cuales se tenga un convenio;
- d) Uno de los miembros del comité tutor del alumno, que no sea el tutor principal, formará parte del Jurado, y
- e) Para la realización del examen de candidatura se contará con la asistencia de al menos tres miembros del Jurado.

**Norma 25.** Para obtener la candidatura al grado de doctor se seguirá el siguiente procedimiento:

- a) El comité tutor determinará si el alumno está preparado para presentar el examen de candidatura al grado de doctor;
- b) Es requisito indispensable haber aprobado previamente los exámenes disciplinarios;
- c) El alumno presentará por escrito al Comité Académico, con el aval de su comité tutor, un proyecto de investigación para tesis de doctorado.
- d) El Comité Académico tomando en cuenta la propuesta del comité tutor y del alumno, integrará el jurado de candidatura y lo hará del conocimiento de los interesados;
- e) Los miembros del jurado recibirán la documentación necesaria cuando menos 10 días hábiles antes al examen, que será oral;
- f) El examen oral incluirá:
  - i) Una evaluación de su proyecto de tesis de doctorado en la que se buscará identificar si el aspirante tiene el perfil de un futuro doctor, con capacidad para proponer y desarrollar investigación científica relevante y original en el campo de la Ciencia e Ingeniería de Materiales.
  - ii) Un interrogatorio general de conocimientos, en el cual el alumno mostrará conocimiento en el campo de conocimiento de su especialidad en la solución de problemas científicos concretos.

**Norma 26.** Al finalizar el examen de candidatura al grado los sinodales:

- a) Firmarán el acta señalando el resultado con una de las siguientes notas:
  - i) Aprobado y candidato al grado de doctor;
  - ii) Aprobado y candidato al grado de doctor con recomendaciones, o
  - iii) No aprobado, adjuntando un dictamen justificado.
- b) En los casos i. y ii, el Comité Académico otorgará la candidatura al grado de doctor;
- c) En caso de no aprobar el examen el Comité Académico podrá conceder otro examen por única vez, el cual será presentado, de preferencia en el siguiente semestre o a más tardar en un año contado a partir de la fecha de presentación del examen anterior. Para este segundo y último examen no se excluye la posibilidad de un cambio de tema de investigación;
- d) El jurado una vez realizado el examen enviará el acta del mismo, junto con la evaluación fundamentada, al Comité Académico, y
- e) Si el alumno obtiene una segunda evaluación negativa será dado de baja del plan de estudios.

### **Del procedimiento para la integración, designación y modificación de los jurados en los exámenes de grado de maestría y doctorado**

**Norma 27.** El Comité Académico designará el jurado tomando en cuenta la propuesta del alumno y del comité tutor y la hará del conocimiento de los interesados.

Antes de designar jurado el Comité Académico verificará que el alumno haya cumplido todos los requisitos para la obtención del grado.

**Norma 28.** De conformidad con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado y en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado, los jurados para exámenes de grado se integrarán de acuerdo a lo siguiente:

#### **Para exámenes de maestría**

- a) Se propiciará la participación de sinodales de más de una entidad académica;
- b) Los sinodales deberán cumplir con los requisitos establecidos para ser tutor de maestría;
- c) El jurado de exámenes de cualquier modalidad de graduación que implique réplica oral se integrará con cinco sinodales, y
- d) El tutor principal podrá participar como miembro del jurado en el examen de grado.

#### **Para exámenes de doctorado**

- a) El jurado se integrará con cinco sinodales;
- b) Se propiciará la participación de sinodales de más de una entidad académica;
- c) Los sinodales deberán cumplir con los requisitos establecidos para ser tutor de doctorado, y
- d) El tutor principal podrá participar como miembro del jurado en el examen de grado.

**Norma 29.** Los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado establecen que el Comité Académico decidirá sobre las solicitudes de cambio en la integración del jurado de grado. Los alumnos con aval del comité tutor podrán solicitarlo argumentando las razones que lo justifiquen.

### **Del procedimiento para la obtención del grado de maestro o doctor**

**Norma 30.** Una vez que el documento de tesis, el reporte de investigación o el protocolo de investigación correspondiente al examen general de conocimientos realizado para obtener el grado de maestría, haya sido avalado por el comité tutor, se procederá de acuerdo a lo siguiente:

En exámenes con tesis:

- a) La tesis debe ser entregada a los miembros del jurado;
- b) El jurado se integrará con cinco sinodales;

- c) Los sinodales deberán emitir su voto fundamentado por escrito en un plazo máximo de treinta días hábiles, contados a partir del momento en que oficialmente reciban la tesis, el cual será comunicado al Comité Académico;
- d) Si alguno de los sinodales no emite su voto en este periodo, el Comité Académico podrá sustituirlo, reiniciando el periodo de treinta días hábiles con el nuevo sinodal designado;
- e) Será requisito para presentar el examen de grado que al menos cuatro de los cinco votos emitidos sean favorables;
- f) En el examen de grado deberán participar al menos tres sinodales, y
- g) En el examen de grado el alumno debe demostrar que usó tanto los conocimientos adquiridos para resolver el problema que se propuso así como la metodología que planteó en el proyecto de tesis.

Graduación por Reporte de Investigación; modalidad diseñada para el alumno que resuelva un problema para la empresa, institución u otras instancias en la que realizó su estancia de investigación.

- a) El alumno deberá presentar un documento completo aprobado previamente por el comité tutor y avalado por el representante que designó la empresa institución u otras instancias durante la estancia de investigación del alumno;
- b) El reporte debe ser entregado a los miembros del jurado;
- c) El jurado se integrará con cinco sinodales;
- d) Los sinodales deberán emitir su voto fundamentado por escrito en un plazo máximo de treinta días hábiles, contados a partir del momento en que oficialmente reciban el reporte, el cual será comunicado al Comité Académico;
- e) Si alguno de los sinodales no emite su voto en este periodo, el Comité Académico podrá sustituirlo, reiniciando el periodo de treinta días hábiles con el nuevo sinodal designado;
- f) Será requisito para presentar el examen de grado que al menos cuatro de los cinco votos emitidos sean favorables,
- g) En el examen de grado deberán participar al menos tres sinodales, y
- h) En el examen de grado el alumno debe demostrar que usó tanto los conocimientos adquiridos para resolver el problema que se propuso así como la metodología que planteó en el reporte.

Graduación por Examen General de Conocimientos.

La graduación por examen general de conocimientos consiste en la aprobación previa del protocolo de investigación por un jurado designado por el Comité Académico y la defensa oral del protocolo aprobado frente al mismo jurado. Cabe señalar que es un requisito indispensable haber aprobado previamente los cuatro exámenes disciplinarios.

- a) El alumno deberá presentar un protocolo de investigación avalado por su comité tutor;
- b) El protocolo debe ser entregado a los miembros del jurado;
- c) El jurado se integrará con cinco sinodales;
- d) Los sinodales deberán emitir su voto fundamentado por escrito en un plazo máximo de veinte días hábiles, contados a partir del momento en que

- oficialmente reciban el protocolo, el cual será comunicado al Comité Académico;
- e) Si alguno de los sinodales no emite su voto en este periodo, el Comité Académico podrá sustituirlo, reiniciando el periodo de veinte días hábiles con el nuevo sinodal designado;
  - f) Será requisito para presentar el examen de grado que al menos cuatro de los cinco votos emitidos sean favorables; y
  - g) En el examen de grado deberán participar al menos tres sinodales.

El alumno que no apruebe el mismo examen disciplinario en dos ocasiones no podrá optar por esta opción y deberá graduarse de Maestro en Ciencia e Ingeniería de Materiales por examen de grado (tesis o reporte de investigación).

El examen oral incluirá:

- Identificar si el alumno tiene el perfil de un futuro doctor, con capacidad para proponer y desarrollar investigación científica relevante y original en el campo de la ciencia e ingeniería de materiales.
- Un interrogatorio general de conocimientos, en el cual el alumno deberá demostrar que domina el campo de conocimiento de su especialidad en la solución de problemas científicos concretos.

El contenido temático de graduación de maestría por la opción del Examen General de Conocimientos coincide con el del Examen de Candidatura al Grado de Doctor. De esta manera hay una equivalencia entre ambos lo que permite hacer la validación correspondiente cuando el alumno ingresa al doctorado.

**Norma 31.** Una vez que el documento de tesis para obtener el grado de doctor ha recibido el aval del comité tutor se procederá de acuerdo a lo siguiente:

- a) La tesis deberá ser entregada a los miembros del jurado;
- b) El jurado se integrará con cinco sinodales;
- c) Los sinodales deberán emitir su voto fundamentado por escrito en un plazo máximo de cuarenta días hábiles, contados a partir del momento en que oficialmente reciban la tesis, el cual será comunicado al Comité Académico;
- d) Si alguno de los sinodales no emite su voto en este periodo, el Comité Académico podrá sustituirlo, reiniciando el periodo de cuarenta días hábiles con el nuevo sinodal designado;
- e) Será requisito para presentar el examen de grado que al menos cuatro de los cinco votos emitidos sean favorables, y
- f) En el examen de grado deberán participar al menos tres sinodales.

**Norma 32.** Tanto en la obtención del grado de maestría por tesis, por reporte de investigación o por examen general de conocimientos, así como de la obtención del grado de doctor, el alumno que no cuente con al menos cuatro de los votos favorables requeridos, podrá solicitar al Comité Académico la revisión del voto o votos no favorables, dentro de un plazo no mayor de cinco días hábiles a partir de que le fue comunicado por escrito el voto o votos desfavorables. Para ello deberá solicitar por

escrito la revisión de su caso al Comité Académico, argumentando las razones que sustentan su solicitud.

El Comité Académico podrá ratificar el dictamen no favorable o solicitar una nueva opinión de otro tutor acreditado en el Programa, y notificará la resolución al alumno y al tutor en el caso de alumnos de maestría, en un lapso no mayor a 30 días hábiles, a través de un dictamen justificado, el cual será inapelable.

Para el caso de los alumnos de doctorado el Comité Académico podrá ratificar el dictamen no favorable o solicitar una nueva opinión de otro tutor acreditado en el Programa, y notificará la resolución al alumno y al comité tutor, en un lapso no mayor a 40 días hábiles, a través de un dictamen justificado, el cual será inapelable.

**Norma 33.** Para la aprobación de los exámenes de grado de maestría y doctorado se requiere de la mayoría de los votos aprobatorios de los sinodales. Sin embargo, en el acta sólo aparecerán las palabras de aprobado y obtiene el grado de maestro o doctor; **aprobado con mención honorífica y obtiene el grado de maestro o doctor**; o bien de, suspendido, debiendo firmar el acta todos los sinodales asistentes al examen independientemente del sentido de su voto.

**Norma 34.** La mención honorífica se otorgará cuando se cumplan todos los siguientes requisitos:

Para el caso de Maestría:

- a) Concluir sus actividades académicas en los plazos establecidos en el de plan de estudios.
- b) No haber obtenido una evaluación semestral desfavorable ni calificación menor a 8, NA (no aprobado) o NP (No Presentado) durante sus estudios de maestría.
- c) Tener un promedio mínimo de 9.0 (nueve punto cero).
- d) Haber obtenido, en la revisión de su trabajo, los 5 votos favorables de su jurado de examen.
- e) Contar con un trabajo de calidad excepcional y que constituya un aporte significativo al campo de conocimiento o al estado del arte.
- f) Que la réplica oral sea de excepcional calidad, a juicio de los miembros de jurado que se encuentren presentes en el examen de grado.
- g) El jurado de examen de grado deberá considerar el aporte al área de conocimiento, lo cual se justificará, de preferencia, a través de publicaciones realizadas.

Para el caso del Doctorado:

- a) Aprobar el examen de candidatura en la primera oportunidad.
- b) Concluir sus actividades académicas en los plazos establecidos en el de plan de estudios.
- c) No haber obtenido una evaluación semestral desfavorable ni calificación de NA (no aprobado) o NP (no presentado) durante sus estudios de doctorado.
- d) Haber obtenido, en la revisión de su trabajo de tesis, los 5 votos favorables de su jurado de examen.
- e) Contar con un trabajo de calidad excepcional y que constituya un aporte significativo al campo de conocimiento o al estado del arte.

- f) Que la réplica oral sea de excepcional calidad, a juicio de los miembros de jurado que se encuentren presentes en el examen de grado.
- g) El jurado de examen de grado deberá considerar el aporte al área de conocimiento, lo cual se justificará, de preferencia, a través de publicaciones realizadas.

**Norma 35.** En el caso de que el alumno obtenga suspensión en el examen de grado de maestro o doctor, el Comité Académico autorizará otro examen el cual deberá realizarse no antes de seis meses después de haber realizado el anterior.

**Norma 36.** De acuerdo con lo establecido en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado y en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, la Coordinación de Estudios de Posgrado expedirá un certificado complementario al grado de maestro o doctor, mismo que proporcionará una descripción de la naturaleza, nivel, contexto, contenido y estatus de los estudios concluidos por el alumno, facilitando el reconocimiento académico y profesional.

Dicho certificado se expedirá y entregará en la Coordinación de Estudios de Posgrado en un plazo no mayor de 45 días hábiles, contados a partir de que el alumno proporcione en la dependencia antes mencionada copia del acta que avale el grado de maestro o doctor.

#### **Del procedimiento para el cambio de inscripción de doctorado a maestría**

**Norma 37.** El Comité Académico podrá autorizar el cambio de inscripción de doctorado a maestría cuando un alumno proveniente de una maestría distinta a la de este programa satisfaga los siguientes requisitos:

- a) No haber obtenido evaluaciones semestrales desfavorables;
- b) Contar con la recomendación de su comité tutor;
- c) Presentar la solicitud con la exposición de motivos y la opinión del comité tutor,  
y
- d) Presentar la solicitud al Comité Académico de cambio de inscripción la cual deberá contener la exposición de motivos.

El alumno deberá enviar la solicitud y la documentación requerida en los incisos anteriores al Comité Académico para que éste analice el caso y emita una resolución definitiva e inapelable.

El comité tutor presentará la propuesta al Comité Académico y recomendará el valor en créditos de las actividades académicas realizadas en el doctorado y la propuesta de las equivalencias correspondientes. Cuando la resolución sea positiva el Comité Académico determinará la duración máxima de los estudios en la maestría. En el documento de aprobación se definirá el número de créditos válidos para la maestría.

### **Procedimientos para la suspensión, reincorporación, evaluación alterna y aclaraciones respecto a decisiones académicas que afecten al alumno**

**Norma 38.** De conformidad con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado los alumnos tienen derecho a:

- a) Suspender sus estudios hasta por un plazo máximo de dos semestres sin afectar su situación académica. La solicitud de suspensión deberá presentarse con anterioridad al inicio del semestre lectivo o a más tardar al término del primer mes del semestre. En casos debidamente justificados, el Comité Académico podrá autorizar la suspensión cuando la solicitud sea presentada fuera de los tiempos señalados, o bien podrá otorgar la suspensión por un plazo mayor. Se atenderán particularmente las especificaciones de género, en especial los casos de embarazo de las alumnas;
- b) Solicitar su reincorporación al plan de estudios cuando suspendan los estudios sin autorización; el Comité Académico determinará la procedencia y los términos de la reincorporación. En este caso el tiempo total de inscripción efectiva no podrá exceder los límites establecidos en el plan de estudios;
- c) Solicitar autorización para realizar los exámenes o evaluaciones finales cuando por causas debidamente justificadas no hayan cumplido con este requisito. El Comité Académico estudiará el caso y podrá establecer mecanismos alternos de evaluación, y
- d) Plantear por escrito al Coordinador del Programa o Comité Académico solicitudes de aclaración respecto a decisiones académicas que les afecten y recibir la respuesta por el mismo medio en un plazo máximo de treinta días hábiles.

### **De las equivalencias de estudios para alumnos del plan o planes a modificar**

**Norma 39.** De acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, los alumnos de planes de estudios anteriores a la vigencia del nuevo Reglamento (2006) los concluirán de conformidad con los plazos, disposiciones y plan de estudios vigente en la fecha que ingresaron, o bien, podrán optar por continuar y

concluir sus estudios en un programa adecuado o uno nuevo, previa solicitud y acuerdo favorable del Comité Académico.

**Norma 40.** Para el cambio de un plan de estudios vigente a uno con modificaciones mayores determinado por el Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías, o adecuado, el alumno deberá sujetarse al siguiente procedimiento:

- a) El alumno deberá solicitar su cambio por medio de un escrito dirigido al Comité Académico, vía el Coordinador del Programa;
- b) El Coordinador del Programa presentará el caso al Comité Académico proponiendo las equivalencias de acuerdo a la tabla de equivalencias de cada plan de estudios;
- c) El Coordinador del Programa le comunicará al alumno la aceptación de cambio al plan de estudios solicitado así como las equivalencias autorizadas, y
- d) El Coordinador del Programa notificará a la Dirección General de Administración Escolar sobre el acuerdo del Comité Académico respecto al cambio del plan de estudios del alumno, así como de las equivalencias autorizadas.

#### **Procedimiento para las revalidaciones y acreditaciones de estudios realizados en otros planes de posgrado**

**Norma 41.** Para solicitar la revalidación o acreditación de estudios realizados en otros planes de posgrado el alumno, deberá sujetarse al siguiente procedimiento:

- a) Deberá solicitar su revalidación o acreditación por medio de un escrito dirigido al Comité Académico, vía el Coordinador del Programa;
- b) El Coordinador del Programa presentará el caso al Comité Académico;
- c) Para el caso de revalidación el Comité Académico determinará las actividades académicas que serán revalidadas en el plan de estudios a cursar;
- d) Para el caso de acreditación el Comité Académico determinará las actividades académicas que serán equivalentes en el plan de estudios en el que se encuentra inscrito el alumno, previa recomendación del tutor o tutores principales y en su caso del comité tutor, y
- e) El Coordinador del Programa comunicará al alumno y a la Dirección General de Administración Escolar la resolución del Comité Académico.

En el plan o planes de estudio se deberá especificar el porcentaje de créditos susceptibles a ser revalidado o acreditado. El porcentaje de créditos a revalidar o acreditar no podrá exceder a los señalados en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado, 40% para el caso de las revalidaciones y 50% para el caso de las acreditaciones.

## **Del Sistema de Tutoría**

**Norma 42.** De acuerdo con los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado, será atribución del Comité Académico aprobar la incorporación y permanencia de tutores, asimismo solicitará al Coordinador del Programa la actualización periódica del padrón de tutores acreditados en el Programa, y vigilará su publicación semestral para información de los alumnos.

El académico que desee incorporarse como tutor en el Programa, deberá solicitar su incorporación al Comité Académico y cumplir con los requisitos establecidos en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, en el programa del Posgrado y en estas normas operativas. La resolución del Comité Académico deberá hacerse del conocimiento del interesado por escrito.

Un tutor podrá ser acreditado exclusivamente para la maestría o el doctorado, o para ambos.

El padrón de tutores se revisará cada año. Los tutores que tienen actividades sustantivas en el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales se denominan activos, los otros pasan a ser tutores inactivos cuando exista una causa justificada.

**Norma 43.** De conformidad con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado, y en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado, los requisitos para ser tutor del Programa son los siguientes:

Para tutores de maestría:

- a) Contar al menos con el grado de maestría en ciencia e ingeniería de materiales o en campos afines a éste o con la dispensa de grado aprobada por el Comité Académico;
- b) Estar dedicado a actividades académicas o profesionales relacionadas con la ciencia e ingeniería de materiales y con los campos de conocimiento de la maestría;
- c) Tener, a juicio del Comité Académico, una producción académica reciente, demostrada por obra publicada o profesional de alta calidad;

Comprometerse a participar en las actividades que le sean asignadas por el Comité Académico, y

Presentar una solicitud por escrito al Comité Académico exponiendo su candidatura, así como su compromiso en participar en todas las acciones que se requieran para el funcionamiento del programa.

Para tutores de doctorado:

- a) Contar con el grado de doctor en ciencia e ingeniería de materiales o en campos afines a éste o con la dispensa de grado aprobada por el Comité Académico;
- b) Estar dedicado a actividades académicas o profesionales relacionadas con los campos de conocimiento del doctorado;

- c) Tener, a juicio del Comité Académico, una producción académica reciente, demostrada por obra publicada o profesional de alta calidad;
- Ser, a juicio del Comité académico, investigador independiente con sus propias líneas de investigación;
- Estar dedicado conjuntamente a la docencia y a la investigación, para la formación de recursos humanos;
- Comprometerse a participar en las actividades que le sean asignadas por el Comité Académico, y.
- Presentar una solicitud por escrito al Comité Académico exponiendo su candidatura, así como su compromiso en participar en todas las acciones que se requieran para el funcionamiento del programa.

Los tutores de doctorado serán tanto de maestría como de doctorado.

**Norma 44.** A todos los alumnos el Comité Académico les asignará un comité tutor, conformado por al menos tres miembros, uno de los cuales fungirá como tutor principal. Uno más deberá pertenecer a una entidad académica diferente a la del tutor principal.

Para la asignación del tutor principal en la maestría y tutor o tutores principales en el doctorado el Comité Académico tomará en cuenta la opinión del alumno, y para la asignación del comité tutor tomará en cuenta la del alumno y del tutor o tutores principales.

En caso de que se designe más de un tutor principal en el doctorado el Comité Académico definirá el número de miembros que integrará el comité tutor y, se procurará que los comités tutores se integren con miembros de más de una entidad académica participante y/o de alguna institución externa.

**Norma 45.** De conformidad con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado el tutor principal tiene las siguientes funciones:

- a) Establecer, junto con el alumno, el plan individual de actividades académicas que éste seguirá, de acuerdo con el plan de estudios;
- b) Dirigir la tesis de grado;
- c) Supervisar el trabajo de preparación para la obtención del grado por reporte de investigación o protocolo de investigación doctoral;
- d) El tutor deberá reunirse con su tutorando al menos en cuatro ocasiones al semestre, y
- e) Asesorar al alumno en la preparación de los exámenes disciplinarios.

**Norma 46.** De conformidad con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado el comité tutor tiene las siguientes funciones:

- a) Aprobar el plan de trabajo del alumno;
- b) Asesorar el trabajo del alumno;
- c) Evaluar semestralmente el avance del plan de trabajo del alumno;
- d) Proponer al Comité Académico el cambio de un alumno de maestría a doctorado, o viceversa, de acuerdo con las normas operativas;

- e) Determinar, en su caso, si el alumno de doctorado está preparado para optar por la candidatura al grado;
- f) Entregar las evaluaciones semestrales en los tiempos establecidos por la Coordinación del Programa;
- g) Proponer la integración del jurado de examen de grado, y del examen de candidatura al grado de doctor, y
- h) El comité tutor deberá reunirse en pleno con el alumno al menos una vez cada semestre; conocerá y avalará el trabajo final con el cual el alumno se graduara, así como el plan individual o de trabajo que deberá cumplir el alumno, evaluará su avance y establecerá el plan de trabajo para el próximo semestre.

**Norma 47.** Los académicos podrán fungir como tutor principal para un máximo de 5 alumnos y como miembro de comités tutor hasta de 8 alumnos. El Comité Académico podrá modificar estos límites dependiendo del desempeño del tutor. En el caso de que un tutor principal tenga alumnos rezagados en sus estudios, el Comité Académico revisará, con cuidado, la asignación de nuevos alumnos.

**Norma 48.** El Comité Académico evaluará cada tres años la labor académica y la participación de los tutores en el Programa considerando que:

- a) Tenga al menos un estudiante regular o haya graduado al menos uno en los últimos cinco años;
- b) Tenga producción científica con al menos un alumno del Programa; la cual se evaluará con las publicaciones de los últimos tres años en revistas internacionales, arbitradas e indizadas;
- c) Cumpla con al menos una actividad al año dentro del Programa: Docencia, comités tutores, exámenes de grado, de candidatura, y disciplinarios, participación en los diversos subcomités que el comité académico forme u otras actividades que le solicite el mismo Comité, y
- d) La entrega puntual de las evaluaciones semestrales en las cuales sea responsable como tutor principal o miembro del comité tutor.

**Norma 49.** Para permanecer como tutor del Programa será necesario estar activo y haber cumplido con las funciones señaladas en el Reglamento General de Estudios de Posgrado y en las presentes normas operativas.

El Comité Académico dará de baja al tutor cuando su evaluación, de acuerdo a la Norma 47 sea negativo u otras causas señaladas en la Legislación Universitaria.

Cuando el Comité Académico acuerde dar de baja a un tutor, informará su decisión al interesado.

### **De los requisitos mínimos para ser profesor del Programa y sus funciones**

**Norma 50.** La selección de profesores para la impartición de los cursos del posgrado estará a cargo del Comité Académico, a propuesta del Coordinador del Programa. El Comité Académico recomendará la contratación de profesores a los consejos técnicos de las entidades académicas participantes, de acuerdo con el Reglamento General de Estudios de Posgrado y los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado.

**Norma 51.** Los requisitos para ser profesor en alguna de las actividades académicas del Programa son:

- a) Estar dedicado a las actividades académicas o profesionales relacionadas con alguno de los campos de conocimiento del Programa, y
- b) Contar con el grado de maestro o doctor, o con la dispensa correspondiente según sea el caso.

**Norma 52.** Las funciones de las actividades académicas de los profesores del Programa son las siguientes:

- a) Conocer y dominar los contenidos de la o las actividades académicas que impartirá en el plan o planes de estudio;
- b) Impartir las actividades académicas en las instalaciones específicamente destinadas para ello en los horarios previamente definidos, y
- c) Cumplir con la evaluación de los alumnos inscritos de conformidad con el programa de la actividad académica respectiva, e informar de los resultados de acuerdo al procedimiento establecido por el Coordinador del Programa.

### **De los criterios y procedimientos para incorporar, modificar o cancelar campos de conocimiento**

**Norma 53.** La adición, modificación y cancelación de campos de conocimiento deberá ajustarse a los siguientes criterios y procedimientos:

- a) Las propuestas pueden ser presentadas por el propio Comité Académico;
- b) La solicitud de adición deberá estar acompañada de:
  - i. Fundamentación y descripción del nuevo campo de conocimiento;
  - ii. Lista de actividades académicas, y para el caso de maestría con su respectivo valor en créditos;
  - iii. Descripción de la estructura y organización de los estudios;
  - iv. Programas de las actividades académicas;
  - v. Relación tentativa de la plantilla de profesores y tutores, y
  - vi. La infraestructura en que se desarrollarían las actividades académicas del nuevo campo de conocimiento.

- c) La modificación deberá acompañarse de:
  - i. Fundamentación y descripción del campo de conocimiento;
  - ii. En el caso de modificación interna de actividades académicas, la justificación y los alcances esperados;
  - iii. Lista de actividades académicas, y para el caso de maestría con su respectivo valor en créditos, y
  - iv. Los programas de las actividades académicas a modificar.
  
- d) La propuesta de cancelación de un campo deberá contener:
  - i. Los argumentos que justifiquen la cancelación.

El Comité Académico analizará las propuestas de adición, modificación o cancelación, según sea el caso y emitirá una resolución al respecto.

Asimismo, para la adición de un nuevo campo de conocimiento en el Programa, así como la modificación o la cancelación de uno de los campos de conocimiento, se requiere contar con la aprobación de al menos dos terceras partes de los miembros del Comité Académico y seguir el procedimiento establecido en estas normas.

**Norma 54.** Aprobada la propuesta de adición o modificación por el Comité Académico, se enviará al Consejo de Estudios de Posgrado para su opinión, y será turnada al Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías para que determine si las modificaciones son menores y sólo requieren de la aprobación del Comité Académico, o si son modificaciones mayores al Programa mismas que deberán contar con la aprobación de los consejos técnicos de las entidades académicas participantes en el Programa. Con la aprobación de este cuerpo colegiado se remitirá al Consejo Académico del Área antes señalado para su estudio, y en su caso aprobación final.

**Norma 55.** Para el caso de cancelación de un campo de conocimiento el Comité Académico, una vez aprobada la propuesta la turnará al Consejo de Estudios de Posgrado para su opinión, quien la remitirá al Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías para su aprobación final, y se informará a las instancias correspondientes.

#### **De los mecanismos y criterios para la evaluación y actualización del plan o planes de estudios que conforman el Programa**

**Norma 56.** De conformidad con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado y en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado la evaluación integral del Programa deberá:

- a) Realizarse al menos cada cinco años;
- b) Será organizada por el Comité Académico del Programa, y

- c) Conducida por el Coordinador del Programa.

Dicha evaluación deberá contemplar los criterios de la “Guía de autoevaluación para los programas de posgrado de la UNAM”, así como los establecidos en el rubro de evaluación de este Programa, adicionalmente, si es el caso, se tomarán en consideración otros criterios aprobados por el Consejo de Estudios de Posgrado.

En la Coordinación de Estudios de Posgrado se proporcionará la “Guía de autoevaluación para los programas de posgrado de la UNAM” así como, la asesoría necesaria para la evaluación del Programa.

Una vez concluida la evaluación el Comité Académico informará de los resultados al Consejo de Estudios de Posgrado y al Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías.

**Norma 57.** Para actualizar los contenidos (cambio en contenidos temáticos y bibliografía) de los programas de las actividades académicas del plan o planes de estudio se deberá seguir el siguiente procedimiento:

- a) Las propuestas pueden ser presentadas por los académicos que impartan las actividades académicas a actualizar; en su caso, otros que determine el Comité Académico;
- b) La propuesta deberá ser presentada al Comité Académico, e incluirá la justificación y el programa propuesto para la actividad académica a actualizar;
- c) El Comité Académico evaluará dicha propuesta y su congruencia con las demás actividades académicas impartidas en el plan de estudios, y
- d) El Comité Académico emitirá su resolución.

De aprobarse la actualización de contenidos de uno o más programas de actividades académicas, el Coordinador del Programa deberá notificarlo al Consejo de Estudios de Posgrado.

En caso de que las actualizaciones a los contenidos de las actividades académicas comprendan más del 50% del plan de estudios, el Consejo de Estudios de Posgrado remitirá al Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías el proyecto de modificación, a fin de que ese consejo estudie y en su caso apruebe el proyecto, y se informará a las instancias correspondientes.

#### **De los criterios y procedimientos para modificar las normas operativas**

**Norma 58.** Para la modificación de las presentes normas operativas se deberá observar el siguiente procedimiento:

- a) El Comité Académico elaborará una propuesta de modificación a las normas operativas de este Programa;

- b) Deberán considerarse las disposiciones establecidas para tal efecto en el Reglamento General de Estudios de Posgrado y en los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado;
- c) Una vez elaborada la propuesta el Comité Académico la turnará para su opinión al Consejo de Estudios de Posgrado;
- d) El Comité Académico tomará en cuenta la opinión del Consejo de Estudios de Posgrado;
- e) En sesión plenaria aprobará la modificación de las normas operativas del Programa, y
- f) El Coordinador del Programa notificará al Consejo de Estudios de Posgrado, a la Dirección General de Administración Escolar y al Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías.

Cualquier situación académica no contemplada en estas Normas Operativas será resuelta por el Comité Académico del Programa.

#### **4. ACTIVIDADES ACADÉMICAS DEL PLAN DE ESTUDIOS DE MAESTRÍA**

En la sección de Planes de Estudios del Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales se muestra el plan completo de los estudios de maestría; no obstante, aquí presentamos un resumen de las actividades académicas de la maestría como apoyo para una mejor selección de éstas por los alumnos.

El plan de estudios de maestría está diseñado para que el alumno acredite sus actividades académicas de cursos en sus dos primeros semestres y se dedique en sus dos semestres restantes, a las actividades académicas de investigación para el desarrollo de su trabajo escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación) que corresponda a la modalidad de graduación que haya elegido.

Las actividades académicas de cursos están divididas en cuatro grupos: a) introductorias, b) básicas, c) por campo de conocimiento y d) optativas. Los alumnos de la maestría deberán acreditar una de las actividades introductorias, que definirá el Comité Académico de acuerdo con la formación del alumno. Se han definido siete actividades académicas básicas, de las cuales el alumno escogerá, de acuerdo con su formación y su campo de conocimiento y conjuntamente con su tutor principal, tres de estas actividades académicas. Para una formación integral, el alumno deberá cursar y acreditar una actividad académica de su campo de conocimiento y una actividad académica optativa.

Las actividades académicas de investigación se inician en el segundo semestre con la actividad académica denominada Proyecto de Investigación en la cual el alumno, conjuntamente con su tutor principal, define el tema de investigación para su documento escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación), para la obtención del grado. Definido su proyecto de investigación, el alumno en el tercer semestre, a través de la actividad académica denominada Estancia de Investigación, inicia propiamente su trabajo de investigación. La estancia de investigación se puede realizar en un laboratorio de investigación de cualquier parte del país o del extranjero y también se puede llevar a cabo en una instalación industrial. Durante el cuarto semestre el alumno realiza la actividad académica denominada Seminario de Investigación, que está enfocado para que concluya con su trabajo de investigación y desarrolle su documento escrito, según corresponda.

En el programa de maestría se contempla que el alumno cubra 80 créditos, distribuidos en nueve actividades académicas de la siguiente manera: una actividad académica introductoria (8 créditos), tres actividades académicas básicas (12 créditos cada una), una actividad académica de campo de conocimiento (8 créditos), una actividad académica optativa (8 créditos), el proyecto de investigación (4 créditos), la estancia de investigación (8 créditos) y el seminario de investigación (8 créditos). El plan de estudios de maestría contempla, además, actividades complementarias sin créditos, así como el documento escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación) que corresponda a la modalidad de graduación que se haya elegido.

Al término del cuarto semestre el alumno debe haber cubierto el 100% de créditos, contar con los votos aprobatorios de su trabajo escrito y defenderlo ante un jurado designado por el Comité Académico.

En el plan de estudios de la Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales no hay una seriación obligatoria o indicativa en las actividades académicas.

Cabe mencionar que, los alumnos que elijan el examen general de conocimiento como modalidad para obtener el grado, deberán presentar al término del primero y segundo semestre dos exámenes disciplinarios, respectivamente.



## **4.1 ACTIVIDADES ACADÉMICAS INTRODUCTORIAS**

- Fundamentos de Matemáticas para Materiales.....66
- Introducción a la Mecánica Cuántica.....68
- Introducción a la Química de Materiales.....71

## FUNDAMENTOS DE MATEMÁTICAS PARA MATERIALES

8 CREDITOS

### OBJETIVO

Este curso cubre los conocimientos mínimos de matemáticas que requiere un alumno que se inicia en el Programa de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales y presupone un conocimiento básico de matemáticas. Se dará énfasis al aprendizaje de técnicas analíticas, así como técnicas computacionales –de matemáticas simbólicas- con aplicaciones y ejercicios relevantes al trabajo teórico y al trabajo experimental. El curso consiste de cuatro horas de teoría semanales combinadas con sesiones de cómputo y se requiere que, cuando menos, el alumno le dedique 8 horas más de trabajo individual.

### TEMARIO

1. Cálculo avanzado en espacios de variables reales y complejas (23 horas)
  - 1.1. Funciones, límites y continuidad
  - 1.2. Integración y diferenciación de funciones y sus expansiones en series
  - 1.3. Funciones trigonométricas: expansiones en series y representación polar
  - 1.4. Trucos de integración de fracciones polinomiales
  - 1.5. Diferenciales en el espacio de n-dimensiones
  - 1.6. Cálculo diferencial de varias variables, multiplicadores de Lagrange
  - 1.7. Integración de varias variables, ángulos sólidos en sistemas polares y otros
  - 1.8. Criterios de convergencia para series, series de potencias y series no convergentes
  - 1.9. Ecuaciones diferenciales de primer y segundo orden
  
2. Álgebra lineal (18 horas)
  - 2.1. Conceptos fundamentales: espacios vectoriales, bases, dimensión de un espacio vectorial
  - 2.2. Operadores en el espacio de n-dimensiones
  - 2.3. Sistemas de ecuaciones
  - 2.4. Ecuaciones de eigenvalores
  - 2.5. Espacio de funciones y teoría de Sturm-Liouville
  - 2.6. Interpolación lineal y por mínimos cuadrados lineales
  
3. Cálculo vectorial (15 horas)
  - 3.1. Análisis vectorial
  - 3.2. Derivadas temporales de un campo vectorial
  - 3.3. Integrales de línea y de superficie
  - 3.4. Operaciones para el gradiente, rotacional y divergencia de un campo ortogonal en dos y tres dimensiones
  - 3.5. Operadores diferenciales en sistemas ortogonales generalizados
  - 3.6. Aplicaciones de gradiente, rotacional y la divergencia en medios continuos

4. MATHEMATICA (8 horas)
- 4.1 Introducción: fundamentos de operación del programa (*kernel*), operaciones básicas, graficación, funciones, etc.
  - 4.2 Funciones: límites, diferenciación, integración, expansión en series.
  - 4.3 Manipulación de listas, patrones y sustituciones
  - 4.4 Graficación y aplicaciones.
  - 4.5 Series y ecuaciones diferenciales.
  - 4.6 Álgebra lineal: operaciones matriciales, diagonalización y formas canónicas.
  - 4.7 Aplicación: mínimos cuadrados y descomposición de valores singulares.
  - 4.8 Aplicación: cálculo vectorial (operadores diferenciales en varios sistemas coordenados).
  - 4.9 Sesiones de cómputo (Las sesiones de cómputo se intercalarán con las clases de teoría de tal manera que sea de utilidad para reforzar los temas que se van desarrollando en el salón de clases.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Greenberg M. D., *Foundations of Applied Mathematics*, Prentice-Hall, New Jersey, 1978.
2. Shankar R., *Basic Training in Mathematics. A Fitness Program for Science Students*, Plenum Press, New York, 1995.
3. Lyons L., *All you wanted to know about mathematics but were afraid to ask, Vol. II*, Cambridge University Press, Cambridge, GB, 1995.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Gaylord R., Kamin S. & Wellin P., *An Introduction to Programming with Mathematica*, 2nd Edition, Springer-Verlag, New York, 1996.
2. Newmann M. M. & Miller T. L., *Mathematica Projects for Vector Calculus*, Kendall/Hunt, 1996.
3. Johnson E., *Linear Algebra with Mathematica*, Brooks/Cole, Boston, 1995.
4. Gilbert J. & Gilbert L., *Linear Algebra and Matrix Theory*, 2<sup>nd</sup> Edition, Academic Press, San Diego, 1995.
5. Lyons L., *All you wanted to know about mathematics but were afraid to ask, Vol. I & II*, Cambridge University Press, Cambridge, GB, 1995.
6. Courant R., Robbins H., & Stewart I., *What is Mathematics. An elementary Approach to Ideas and Methods*, 2nd Edition, Dover Publications, New York, 1989.
7. Widder D. V., *Advanced Calculus*, 2nd Edition, Dover Publications, New York, 1989.
8. Crandall R. E., *Mathematica for the Sciences*, Addison-Wesley, 1991.
9. Bahder T., *Mathematica for Scientists and Engineers*, Addison-Wesley, 1995.
10. Strang G., *Linear Algebra and Its Applications*, 2nd Edition, Academic Press, 1980.

## INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA CUÁNTICA

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Repasar los principios y algunas de las aplicaciones asociados a dos revoluciones científicas claves del Siglo XX: la relatividad (principalmente la especial) y la mecánica cuántica. La primera por sus múltiples aplicaciones a la energía nuclear, tanto en la fisión como en la fusión; la segunda para poder abordar los fenómenos atómicos, moleculares, nucleares, del estado sólido y de materiales modernos en general.

### TEMARIO

1. Introducción (2 horas)
  - 1.1. Unidades y dimensiones
  
2. Relatividad especial (5 horas)
  - 2.1. Relatividad clásica (Galileana)
  - 2.2. El experimento de Michelson-Morley
  - 2.3. Postulados de Einstein
  - 2.4. Transformaciones de Lorentz
  - 2.5. Dinámica relativista;  $E = mc^2$
  - 2.6. Comprobaciones experimentales
  
3. El fotón (5 horas)
  - 3.1. Repaso de ondas electromagnéticas
  - 3.2. Efecto fotoeléctrico
  - 3.3. Radiación del “cuerpo negro”
  - 3.4. Efecto Compton
  - 3.5. Otros procesos fotónicos
  
4. Ondas (de Broglie) asociables a partículas materiales (6 horas)
  - 4.1. Hipótesis de de Broglie
  - 4.2. Relaciones de incertidumbre asociadas a ondas clásicas
  - 4.3. Relaciones de Heisenberg
  - 4.4. Paquetes de onda
  - 4.5. Amplitud de probabilidad
  
5. Ecuación de Schrödinger (6 horas)
  - 5.1. Justificación heurística
  - 5.2. “Receta” de Schrödinger
  - 5.3. Probabilidades y normalización
  - 5.4. Aplicaciones
  - 5.5. Oscilador armónico simple
  - 5.6. Dependencia temporal
  - 5.7. Escalones y barreras de energía potencial

- 6. Modelo atómico Bohr-Rutherford (6 horas)
  - 6.1. Modelo atómico de J. J. Thomson
  - 6.2. Átomo nuclear de Rutherford
  - 6.3. Líneas espectrales
  - 6.4. Modelo planetario de Bohr
  - 6.5. Experimento Franck-Hertz
  - 6.6. Deficiencias del modelo de Bohr
  
- 7. Átomo de hidrógeno (6 horas)
  - 7.1. Coordenadas esféricas polares
  - 7.2. Funciones de onda del átomo de hidrógeno
  - 7.3. Probabilidades radiales
  - 7.4. Momento angular orbital
  - 7.5. Espín intrínseco
  - 7.6. Niveles de energía
  
- 8. Átomos multi-electrónicos (6 horas)
  - 8.1. Principio de exclusión de Pauli
  - 8.2. Estados electrónicos en átomos multi-electrónicos
  - 8.3. Tabla Periódica de los Elementos
  - 8.4. Propiedades de los elementos
  - 8.5. Rayos X
  - 8.6. Espectros ópticos
  
- 9. Física estadística y materia condensada (6 horas)
  - 9.1. Estadística clásica y cuántica
  - 9.2. Distribución de Maxwell de velocidades moleculares
  - 9.3. Distribución de Maxwell-Boltzmann de energías
  - 9.4. Estadística cuántica
  - 9.5. Aplicaciones de las estadísticas de Bose-Einstein y de Fermi-Dirac
  
- 10. Estructura molecular (4 horas)
  - 10.1. Ion hidrógeno molecular
  - 10.2. Hidrógeno molecular y enlace covalente
  - 10.3. Enlace iónico
  - 10.4. Vibraciones moleculares
  - 10.5. Rotaciones moleculares
  - 10.6. Espectros moleculares
  
- 11. Física del estado sólido (6 horas)
  - 11.1. Sólidos iónicos y covalentes
  - 11.2. Otros tipos de enlaces
  - 11.3. Teoría de bandas en estado sólido
  - 11.4. Electrones en metales
  - 11.5. Superconductividad
  - 11.6. Semiconductores

12. Radiactividad y estructura nuclear (3 horas)
- 12.1. Constituyentes, tamaños y formas nucleares
  - 12.2. Masas y energías de enlaces nucleares
  - 12.3. Fuerzas nucleares
  - 12.3. Decaimiento radiactivo: alfa, beta y gama
  - 12.4. Radiactividad natural
13. Reacciones nucleares y aplicaciones a fisión y fusión (3 horas)
- 13.1. Tipos de reacciones nucleares
  - 13.2. Producción de radioisótopos en reacciones nucleares
  - 13.3. Fisión
  - 13.4. Fusión.

#### BIBLIOGRAFÍA

Texto:

Krane K. S., *Modern Physics*, 2da. Edición, Wiley, 1996.

Texto auxiliar:

de Llano M., *Mecánica Cuántica*, 2ª Edición, Facultad de Ciencias, UNAM, 2002 (con reimpresión del 2006).

## INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA DE LOS MATERIALES

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

En este curso se presentan los conceptos básicos de química necesarios para que todos aquellos alumnos, del Posgrado en Ciencia e Ingeniería de los Materiales, que tengan una formación de licenciatura en otra área del conocimiento, puedan nivelarse y posteriormente cursar otras materias relacionadas.

### TEMARIO

1. Conceptos fundamentales (8 horas)
  - 1.1. Átomo, elementos químicos (estables y radiactivos), isótopos, molécula y cristal.
  - 1.2. Defectos en un cristal.
  - 1.3. Compuesto, isómero, fórmula mínima y fórmula molecular.
  - 1.4. Número de Avogadro, masa, número atómico y masa molecular.
  - 1.5. Concepto de mol.
  
2. Periodicidad química (8 horas)
  - 2.1. Tabla periódica, grupos y periodos.
  - 2.2. Números cuánticos.
  - 2.3. Configuración electrónica.
  - 2.4. Apantallamiento, carga nuclear efectiva, número de oxidación, valencia.
  - 2.5. Propiedades electrónicas (energía de ionización y afinidad electrónica).
  - 2.6. El tamaño de los átomos (radio atómico, radio iónico, radio covalente, radio metálico).
  - 2.7. Electronegatividad.
  
3. Enlace químico (24 horas)
  - 3.1. Regla del octeto.
  - 3.2. Enlace covalente y sus propiedades.
  - 3.3. Teoría de enlace valencia y orbitales moleculares.
  - 3.4. Enlace iónico y sus propiedades (campo cristalino, ciclo de Born-Haber).
  - 3.5. Enlace metálico y sus propiedades.
  - 3.6. Otras fuerzas químicas (puente de hidrógeno y de van der Waals).
  
4. Oxidación-reducción (8 horas)
  - 4.1. Reacciones químicas de oxidación-reducción.
  - 4.2. Estados de oxidación.
  - 4.3. Notación iónica en las ecuaciones.
  - 4.4. Balanceo de ecuaciones de oxidación-reducción.
  
5. Soluciones (4 horas)
  - 5.1. Soluteo y disolvente.

- 5.2. Unidades de concentración (molaridad, normalidad, molalidad, porcentaje en peso y volumen, partes por millón, etc).
- 5.3. Solubilidad en solventes polares y apolares.
- 5.4. pH.
  
- 6. Ácidos y bases (4 horas)
  - 6.1. Definición de ácido y base.
  - 6.2. Ionización del agua, hidrólisis.
  - 6.3. Soluciones tampón (buffer) e indicadores.
  
- 7. Introducción a la química orgánica (8 horas)
  - 7.1. Elementos del grupo del carbón.
  - 7.2. Nomenclatura (alcanos, alquenos, alquinos y aromáticos).
  - 7.3. Grupos funcionales.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Chang R., *Química*, Edit. McGraw-Hill, 2002.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Huheey J. E., *Química Inorgánica. Principios de Estructura y Reactividad*, Edit. Harla, 1981.
2. Garritz A. y Chamizo J., *Estructura Atómica*, Edit. Addison-Wesley Iberoamericana 1ª. Edic. USA 1994.
3. Cotton F. A. y Wilkinson G., *Química Inorgánica Avanzada*, Edit. Limusa Noriega Editores, 2001.
4. Manku G. S., *Principios de Química Inorgánica*, Edit. Mc-Graw Hill, 1992.
5. McMurry J., *Química Orgánica*, Edit. Iberoamericana S.A. de C.V., 1992.

## 4.2. ACTIVIDADES ACADÉMICAS BÁSICAS

• Estructura de los Materiales.....	74
• Estructura Electrónica de Materiales.....	77
• Matemáticas Aplicadas a Materiales.....	80
• Mecánica de Medios Continuos.....	82
• Propiedades Mecánicas de Materiales.....	85
• Química de los Materiales.....	88
• Termodinámica de los Materiales.....	90

# ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES

12 CREDITOS

## OBJETIVOS

En este curso se presentan los conceptos básicos sobre estructura cristalina y difracción de rayos-X necesarios para el estudio de los materiales, con el fin de que los alumnos de diversas disciplinas como física, ingeniería, química y otras áreas afines puedan adquirir los conocimientos indispensables para incursionar en la síntesis y análisis de la estructura de los materiales. Esta asignatura tiene una orientación teórica y requiere que el alumno dedique de 10 a 12 horas de trabajo individual.

## TEMARIO

1. ESTRUCTURA CRISTALINA (30 horas)
  - 1.1. Introducción
    - 1.1.1. El estado cristalino, ¿qué es un cristal? Postulado de la red cristalina. Monocristales y policristales
    - 1.1.2. Base y red de traslación. Vectores reticulares
    - 1.1.3. Celdas elementales y primitivas. Sistemas cristalinos. Redes de Bravais
    - 1.1.4. Centralizaciones
  - 1.2. Elementos de cristalografía
    - 1.2.1. Planos y direcciones cristalinas. Índices de Miller
    - 1.2.2. La red recíproca. Vectores recíprocos. Fórmulas básicas que relacionan el espacio recíproco con el espacio real
    - 1.2.3. Volumen de la celda. Densidad. Distancias y ángulos interplanares
    - 1.2.4. Cambio de sistema de referencia, matrices de transformación
    - 1.2.5. Proyección estereográfica. Redes de Wulff
  - 1.3. Estructuras Cristalinas
    - 1.3.1. Posiciones atómicas. Representaciones de Wyckoff. Coordinación. Número de coordinación. Poliedros de coordinación
    - 1.3.2. Algunos tipos importantes de estructuras de sólidos inorgánicos. Estructuras *sc*, *bcc*, *fcc*. Estructuras tipo diamante, cinc blende, perovskita. (cloruro de cesio, sal de roca, blenda antiferita, wurtzita, arseniuro de níquel, rutilo, titanato de bario, espinela (directa e inversa), olivina, diamante y grafito)
    - 1.3.3. Algunos tipos importantes de estructuras de sólidos orgánicos: poli(etileno), acetileno, poli(etilentereftalato), nylon
    - 1.3.4. El sistema hexagonal. Índices de Miller-Bravais. Transformación romboédricohexagonal
    - 1.3.5. Empaquetamientos: *hcp* y *ccp*. Factores de empaquetamiento. Sitios cristalográficos: tetraédricos y octaédricos
  - 1.4. Defectos cristalinos
    - 1.4.1. Defectos puntuales. Defectos lineales. Dislocaciones

#### 1.4.2. Compuestos estequiométricos y no estequiométricos

## 2. SIMETRIA CRISTALINA

(30 horas)

### 2.1. Operaciones de simetría

- 2.1.1. Definición. Traslación, reflexión, rotación, inversión. Representación matricial.
- 2.1.2. Operaciones abiertas y cerradas.
- 2.1.3. Grupo espacial, grupo factor y grupo puntual. Definiciones.

### 2.2. Grupos puntuales

- 2.2.1. Grupos puntuales y propiedades físicas.
- 2.2.2. Grupos cíclicos.
- 2.2.3. Grupos diédricos.
- 2.2.4. Grupos tetraédricos y octaédricos.
- 2.2.5. Los 32 grupos puntuales. Clases de Laue.
- 2.2.6. Simetría molecular.

### 2.3. Grupos espaciales

- 2.3.1. Clasificación de los grupos espaciales. Grupos simórficos y no simórficos.
- 2.3.2. Nomenclatura y simbología. Planos de deslizamiento, ejes helicoidales.
- 2.3.3. Las tablas internacionales de cristalografía.

## 3. DIFRACCION DE RAYOS-X

(18 horas)

### 3.1. Introducción

- 3.1.1. Naturaleza y propiedades de los rayos-X. Producción de rayos-X. Características espectrales. Longitudes de onda características.

### 3.2. Geometría de la difracción

- 3.2.1. Ecuaciones de Laue. La ley de Bragg
- 3.2.2. Red recíproca, la esfera de Ewald y las zonas de Brillouin
- 3.2.3. Métodos de difracción. La cámara de Laue del cristal rotatorio
- 3.2.4. Métodos de polvo. Cámara de Debye-Sherrer. Geometría Bragg-Bretano
- 3.2.5. Direcciones de difracción

### 3.3. Intensidad de los picos de difracción

- 3.3.1. Dispersión por un electrón, por un átomo, y por el cristal.
- 3.3.2. El factor de estructura. El problema de la fase.
- 3.3.3. Cálculo del factor de estructura en casos simples (estructuras con uno o dos átomos por celda en sistemas de alta simetría). Extinciones.
- 3.3.4. El factor de Lorentz-polarización.
- 3.3.5. El factor multiplicidad.

- 3.3.6. Factores de absorción y temperatura.
- 3.3.7. La intensidad integral. El patrón de difracción de un material
- 3.4. Difracción de rayos x, neutrones y electrones
  - 3.4.1. Aplicaciones.
- 4. ESTADOS CONDENSADOS. (6 horas)
  - 4.1. Estados mesomórficos.
  - 4.2. Estados vítreo, elastomérico y líquido.
- 5. CASOS PRÁCTICOS (12 horas)
  - 5.1. Determinación del grupo espacial de simetría de un compuesto.
  - 5.2. Indexación de patrones de difracción y las extinciones sistemáticas.
  - 5.3. Determinación de microdeformaciones de un material a partir del ancho de los picos de difracción.
  - 5.4. Determinación del tensor de esfuerzos y las constantes elásticas de un material, basado en la difracción.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Burns G. and Glazer A.M., *Space Groups for Solid State Scientists*, Academic Press, 1990.
2. Giacovazzo C., Monaco H.L., Viterbo D., Scordari F., Gilli G., Zanotti G., Catti M., *Fundamentals of Crystallography*, Oxford University Press, 1992.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Pecharsky V. K. and Zavalij P. Y., *Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials*, Springer Science+Business Media Inc., NY, USA, 2005.
2. West A. R., *Solid State Chemistry and its Applications*, Wiley, 2000.
3. Ladd M.F.C and Palmer R.A., *Structure Determination by X-ray Crystallography*, Plenum Press, New York, 1993.
4. Cowley J., *Electron Diffraction Techniques*, Oxford Science Pub., 1992.
5. Jackson A. G., *Handbook of Crystallography.*, Springer-Verlag, New York, 1991.
6. Hyde B. G., *Inorganic Crystal Structure.*, Wiley and Sons, 1989.
7. Glazer A.M., Hilger A., *The Structure of Crystals*, England, 1987.
8. Cullity B. D., *Elements of X-Ray Diffraction*, 1978.
9. Wyckoff R.W., *Crystal Structures*, 2nd. Edition, Interscience Pub., 1966.
10. *International Tables of Crystallography*, Volume A, IUCr, Springer.
11. *International Tables for Crystallography*, Volume A: Space-group symmetry, International Union of Crystallography. Springer.

## ESTRUCTURA ELECTRÓNICA DE MATERIALES

12 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Este curso tiene como objetivo introducir al alumno a la visión moderna de la estructura electrónica de los materiales. A diferencia de los cursos tradicionales del estado sólido, donde se hace énfasis en la teoría del electrón libre o la teoría de bandas en un material cristalino perfecto invocando el concepto del espacio recíproco, en el presente curso se hace énfasis en el espacio real como un enfoque complementario en el que se pueden tratar tanto los defectos electrónicos como las propiedades de materiales amorfos, además de los cristalinos. De esta manera se proporciona una metodología versátil y más útil para entender la estructura electrónica de los materiales. Siendo este enfoque más cercano a la concepción química de la descripción de sistemas electrónicos (moleculares y extendidos), favorecerá la correlación rápida entre los conocimientos de los alumnos egresados de las carreras de física, química e ingeniería y el contenido del curso. Para este curso se requiere que el alumno tenga los conocimientos al nivel de los cursos de Fundamentos de Matemáticas para Materiales y de Introducción a la Mecánica Cuántica. Este curso tiene una orientación teórica y requiere que el alumno dedique de 10 a 12 horas de trabajo individual.

### TEMARIO

1. Introducción (8 horas)
  - 1.1. Revisión de algunos conceptos matemáticos asociados a la Mecánica Cuántica: bras y kets
  - 1.2. El átomo de hidrógeno
  - 1.3. Metales, semiconductores y aislantes
2. La molécula diatómica (8 horas)
  - 2.1. La molécula diatómica homonuclear: la molécula de hidrógeno
  - 2.2. La molécula diatómica heteronuclear
  - 2.3. Electronegatividad
  - 2.4. Energía de enlace y orden de enlace
3. Sistemas finitos e infinitos (12 horas)
  - 3.1. Cadenas moleculares y el espacio  $k$
  - 3.2. Orden de enlace en un sistema infinito
  - 3.3. Densidad de estados local y total
  - 3.4. Bandas de energía y energía de enlace
  - 3.5. El teorema de los momentos
  - 3.6. La aleación binaria
4. Sistemas bidimensionales y tridimensionales (12 horas)
  - 4.1. El sólido visto como una molécula gigante
  - 4.2. La red cuadrada
  - 4.3. La red cúbica

- 4.4. Las zonas de Brillouin para las redes fcc y bcc
- 4.5. La ecuación de movimiento para un electrón bajo la presencia de un campo externo
- 4.6. El concepto de hueco
- 4.7. La superficie de Fermi
- 4.8. La densidad de estados en cristales bidimensionales y tridimensionales
- 4.9. La matriz de densidad, orden de enlace y la energía de enlace
- 4.10. El teorema de los momentos aplicado a los cristales bidimensionales y tridimensionales
  
- 5. Brechas de energía (8 horas)
  - 5.1. La cadena infinita con dos estados s por átomo
  - 5.2. Brechas de energía en una cadena lineal de una aleación binaria
  - 5.3. Distorsiones de Peierls
  - 5.4. Metales, aislantes y el enlace metálico
  
- 6. Enlace s-p: el caso del silicio (6 horas)
  - 6.1. Enlace s-p entre dos átomos de silicio
  - 6.2. Dependencia angular de las integrales de saltos asociados a los enlaces s-p y p-p
  - 6.3. Híbridos sp
  - 6.4. Modelos simples de la estructura electrónica del silicio con coordinación tetraédrica
  - 6.5. Estructura de bandas del silicio empleando una base atómica mínima
  - 6.6. Orden de enlace y energía de enlace en el silicio empleando una base atómica mínima
  
- 7. Teoría del electrón libre (10 horas)
  - 7.1. Aproximación del electrón libre
  - 7.2. Electrones dentro de una caja
  - 7.3. Densidad de estados
  - 7.4. Bandas de energía en las aproximaciones del electrón libre y calculadas a partir de la combinación lineal de orbitales atómicos
  - 7.5. Modelo del electrón casi libre
  - 7.6. Pseudopotenciales
  - 7.7. Apantallamiento
  - 7.8. Correlación e intercambio
  
- 8. Propiedades de los metales dentro de la aproximación del electrón libre (12 horas)
  - 8.1. Estadística de Fermi-Dirac
  - 8.2. Potencial de contacto
  - 8.3. Calor específico electrónico
  - 8.4. Conductividad eléctrica
  - 8.5. Conductividad térmica
  - 8.6. La ley de Wiedeman-Franz
  - 8.7. Efecto Hall
  - 8.8. Energía de cohesión en metales simples

- 8.9. Diferencias energéticas estructurales
9. Metales de transición (12 horas)
- 9.1. El modelo de Friedel
  - 9.2. Potenciales de Finnis-Sinclair
  - 9.3. Enlaces d-d
  - 9.4. Estructura cristalina en la familia de los metales de transición
  - 9.5. Enlace en las aleaciones metálicas
10. Introducción a la teoría cuantitativa moderna (4 horas)
- 10.1. La aproximación de Born-Oppenheimer
  - 10.2. Bosquejo de la teoría de la funcional de densidad
  - 10.3. Algunas aplicaciones
11. Más allá de la teoría de bandas: Tratamiento informativo de temas actuales (4 horas)  
(NOTA: Este capítulo no debe incluirse en el examen final de la asignatura ni en el examen disciplinario.)
- 11.1. Electrones en materiales no cristalinos
  - 11.2. La brecha energética en el silicio amorfo
  - 11.3. Localización electrónica
  - 11.4. Polarones
  - 11.5. Localización de Anderson
  - 11.6. Transición metal-aislante
  - 11.7. Superconductividad
  - 11.8. Magnetismo
  - 11.9. Cuasicristales

## BIBLIOGRAFÍA

Libro de texto:

2. Sutton A.P., *Electronic Structure of Materials*, 1st. Edition, Oxford Science Pub., 1994.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Kittel C., *Introduction to Solid State Physics*, John Wiley & Sons, 6th. edition, 1986.
3. Mckelvey J.P., *Física del Estado Sólido y de Semiconductores*, Editorial Limusa, 1980.
4. Ashcroft N.W. and Mermin N.D., *Solid State Physics*, Holt-Saunders International Editions, 1975.
5. Ibach H. and Lüth H., *Solid State Physics*, 3th. edition, Springer Verlag, 1993.
6. Ziman J. M., *Principles of the Theory of Solids*, Cambridge University Press, 2nd. Edition, 1972.
7. Harrison W.A., *Electronic Structure and the Properties of Solids*, Dover Publications, 1989.

## MATEMÁTICAS APLICADAS A MATERIALES

12 CRÉDITOS

### OBJETIVOS

Este curso se estudian métodos analíticos para la formulación de y solución de ecuaciones diferenciales. Las ecuaciones diferenciales, tanto ordinarias como parciales, se utilizan para modelar el comportamiento de la gran mayoría de los materiales. Los métodos y técnicas comprenden el uso de variable compleja, expansiones en series de eigenfunciones, transformadas y métodos aproximados. Además de las técnicas analíticas, se hará uso de paquetes de software, tales como Mathematica, Matlab, Femlab, etc., para encontrar soluciones numéricas. Se requiere que el alumno tenga los conocimientos al nivel de la asignatura básica del Posgrado “Fundamentos de Matemáticas para Materiales”. Esta asignatura tiene una orientación teórico-práctica. Se proponen cuatro horas de teoría y dos de cómputo semanales y requiere que el alumno dedique de 10 a 12 horas de trabajo individual.

### TEMARIO

#### 1. ECUACIONES DIFERENCIALES

- 1.1. Motivación. [Referencia 1, capítulos 1] (2 horas)
  - 1.1.1. Importancia de las ecuaciones diferenciales para el modelado de materiales.
- 1.2. Ecuaciones Diferenciales Ordinarias. [Referencia 2, 3 y 10] (18 horas)
  - 1.2.1. Repaso de algunos métodos de solución para ecuaciones de primer y segundo orden
  - 1.2.2. Sistemas homogéneos y no-homogéneos
  - 1.2.3. Elementos de estabilidad, Espacio fase y puntos críticos de sistemas lineales
  - 1.2.4. Soluciones aproximadas y numéricas
- 1.3. Ecuaciones Diferenciales Parciales. [Referencia 1, capítulo 12] (18 horas)
  - 1.3.1. Algunas ecuaciones en las ciencias de materiales
  - 1.3.2. Sistemas de una, dos y tres dimensiones
  - 1.3.3. Clasificación de las ecuaciones, formas canónicas
  - 1.3.4. Ecuaciones elípticas, parabólicas e hiperbólicas
  - 1.3.5. Introducción a algunos métodos de solución
- 1.4. Problemas de valores de frontera [Referencia 1, capítulos 8, 13 y 14 y Referencia 2, capítulo 28] (10 horas)
  - 1.4.1. Sistemas de ecuaciones de Sturm-Liouville
  - 1.4.2. Condiciones de frontera de Dirichlet y Neumann

- 2. VARIABLE COMPLEJA [Referencia 3] (24 horas)
  - 2.1. Análisis Complejo
  - 2.2. Analiticidad
  - 2.3. Series de Laurent
  - 2.4. Singularidades

- 2.5. Ramificaciones cortadas
  - 2.6. Integración por contornos
  - 2.7. Cálculo de Residuos
3. ANÁLISIS DE FOURIER [Referencia 4] (24 horas)
- 3.1. Problemas de valor de Frontera
  - 3.2. Teoría de Sturm-Liouville
  - 3.3. Funciones ortogonales
  - 3.4. Expansión en Eigen-funciones
  - 3.5. Separación de variables

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Spiegel M.R., *Ecuaciones Diferenciales Aplicadas*, Prentice-Hall, 1985.
2. Greenberg M.D., *Foundations of Applied Mathematics*, Prentice-Hall, 1978.
3. Churchill R.V., Brown J.V., *Complex Variables and Applications*, Mcgraw-Hill, 1993.
4. Churchill R.V., Brown J.V., *Fourier Series and Boundary Value Problems*, Mcgraw-Hill, 1993.

# MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS

12 CRÉDITOS

## OBJETIVOS

En este curso se presentan los fundamentos que permitan al alumno trabajar en el área de Mecánica Aplicada y Materiales Complejos. El objetivo principal es presentar de una manera unificada la teoría que describe el comportamiento de fluidos y sólidos. El curso inicia con las bases matemáticas necesarias para desarrollar la teoría de medios continuos, prosigue con los conceptos de cinemática y dinámica de un medio continuo y termina con algunas ecuaciones constitutivas para sólidos y fluidos. Además, se presentan algunas soluciones a problemas con valores de frontera. Para este curso se requiere que alumno tenga los conocimientos al nivel de la asignatura introductoria "Fundamentos de Matemáticas para Materiales" y de un curso elemental ya sea de Medios Continuos, Mecánica de Fluidos o Mecánica de Sólidos. Esta asignatura tiene una orientación teórica y requiere que el alumno dedique de 10 a 12 horas de trabajo individual.

## TEMARIO

1. Antecedentes matemáticos [Bibliografía 3, 4 y 5] (18 horas)
  - 1.1. Transformaciones lineales de coordenadas
  - 1.2. Notación indicial
  - 1.3. Transformaciones generales de coordenadas
  - 1.4. Teorema Espectral, de Cayley-Hamilton y Descomposición Polar
  - 1.5. Tensor Métrico Fundamental, derivadas covariantes y símbolos de Christoffel
  - 1.6. Gradiente, divergencia, rotacional y el operador  $\nabla$  *El El*
  - 1.7. El tensor de Riemann y las identidades de Bianchi
  
2. Cinemática del medio continuo [Bibliografía 2, 6] (18 horas)
  - 2.1. Definición de un medio continuo [Bibliografía 5, páginas 1 y 2]
  - 2.2. Mapeos y representaciones de medios continuos
  - 2.3. Descripción de Euler y descripción de Lagrange
  - 2.4. El tensor de deformación de un medio continuo
  - 2.5. Dilataciones y deformaciones puras
  - 2.6. El tensor de rapidez de deformación
  - 2.7. Teorema de Reynolds
  - 2.8. La ecuación de balance de masa
  
3. Dinámica del medio continuo [Bibliografía 2 Cap. 3; Bibliografía 6, Cap. 1,] (12 horas)
  - 3.1. Las fuerzas de cuerpo y las fuerzas de superficie
  - 3.2. El tensor de esfuerzos
  - 3.3. Ejes principales y círculo de Mohr
  - 3.4. Las ecuaciones de balance de momento lineal
  - 3.5. Simetría del tensor de esfuerzos.

- 3.6. Ecuación de balance de momento angular
4. Ecuaciones constitutivas [Bibliografía 7, Caps. 4 y 5; Bibliografía 10 Cap. 6] (10 horas)
- 4.1. Desigualdad de Clasius-Duhem. Axiomas constitutivos
  - 4.2. Sólido elástico
  - 4.3. Sólido elasto-plástico
  - 4.4. Fluidos ideales
  - 4.5. Fluidos newtonianos
  - 4.6. Fluidos no newtonianos
  - 4.7. Material viscoelástico
5. Elasticidad lineal [Bibliografía 2, Cap. 6; Bibliografía 5, Cap. 9;] (14 horas)
- 5.1. Ley de Hooke
  - 5.2. Simetría en elasticidad lineal y medios anisotrópicos
  - 5.3. Elasticidad plana
  - 5.4. Termoelasticidad
  - 5.5. Torsión
6. Análisis lineal de mecánica de fluidos [Bibliografía 2, Cap.7; Bibliografía 5, Cap. 10; Bibliografía 8, Caps. 4 y 7] (14 horas)
- 6.1. Tensor de esfuerzos viscosos
  - 6.2. Ecuación de Navier-Stokes
  - 6.3. Soluciones exactas de la ecuación de Navier-Stokes
  - 6.4. Soluciones de flujo en fluidos
7. Viscoelasticidad lineal [Bibliografía 2, Cap. 9; Bibliografía 7, Cap. 5; Bibliografía 9, Caps. 1 y 2] (14 horas)
- 7.1. Ecuaciones constitutivas y sus propiedades
  - 7.2. Esfuerzos normales
  - 7.3. Algunas soluciones

## BIBLIOGRAFÍA

1. Chung T. J., *Applied Continuum Mechanics*, Cambridge UK, 1996.
2. Mase G.E. and Mase G.T., *Continuum Mechanics for Engineers*, CRC Press, Boca Raton, 1992 .
3. Simmonds J. G., *A Brief Tensor Analysis*, 2nd edition, Springer-Verlag, 1994.
4. Sokolnikoff J. S., *Análisis Tensorial*, Ed. Limusa, 1982.
5. Chandrasekharaiah D.S. and Debnath L., *Continuum Mechanics*, Academic Press, Boston, 1994.
6. Atanackovic T. M., Guran A., *Theory of Elasticity for Scientists and Engineers*, Birkhäuser, Boston, 2000.
7. Bird, Armstrong, Hassager, *Dynamics of Polymeric Fluids I: Fluid Mechanics*,
8. Currie G., *Fundamental Mechanics of Fluids*, McGraw Hill, 1974

9. Christensen M., *Theory of Viscoelasticity*, Academic Press, 1971
10. Narasimhan M., *Principles of Continuum Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc., N.Y., 1993.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Eringen C.A., *Mechanics of Continua*, Krieger Publishing, Malabar, 1980.
2. Eringen A.C. and Maugin G.A., *Electrodynamics of Continua I: Foundations and Solid Mechanics*, Springer-Verlag, N.Y., 1990.
3. Fung Y.C. , *A First Course in Continuum Mechanics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1969.
4. Gurtin M.E., *An Introduction to Continuum Mechanics*, Academic Press, 1981.
5. Hunter S.C., *Mechanics of Continuous Media*, John Wiley & Sons, N.Y., 1983.
6. Spencer A.J.M., *Continuum Mechanics*, John Wiley & Sons, N.Y., 1980.

## PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES

12 CRÉDITOS

### OBJETIVO

En este curso se presentan los fundamentos de la física del comportamiento mecánico de los materiales, se estudian los mecanismos de las fallas mecánicas de los materiales y se presentan las características mecánicas distintivas de cada tipo de material. El objetivo de la asignatura es que el alumno adquiera conocimientos sólidos sobre propiedades mecánicas y microestructura y que aprenda a relacionar el comportamiento mecánico macroscópico con la microestructura de los materiales. Para este curso se requiere que los estudiantes tengan conocimientos de los temas de la materia introductoria del Posgrado "Fundamentos de Matemáticas para Materiales" y de un curso elemental de física moderna al nivel de licenciatura. Este curso tiene una orientación teórica y requiere que el alumno dedique de 10 a 12 horas de trabajo individual.

### TEMARIO

1. Introducción [Dieter Cap. 1; Nabarro Cap. 1] (1 hora)
2. Elasticidad [Dieter Caps. 1 y 2; Hirth, Lothe, Cap. 2] (12 horas)
  - 2.1. Conceptos de deformación, esfuerzos, energía elástica
  - 2.2. Constantes elásticas, ley de Hooke, ecuación de equilibrio en los sólidos isotrópicos
  - 2.3. Aplicaciones
3. Defectos [Dieter G.E., Cap. 5; Nabarro F.R.N., Cap. 2; Hirth J.P., Lothe J., Cap. 3] (12 horas)
  - 3.1. Introducción
  - 3.2. Teoría elástica de las dislocaciones; Caso general, dislocación de tornillo y de borde
  - 3.3. Teoría elástica de defectos puntuales
  - 3.4. Interacción entre dislocaciones rectilíneas
  - 3.5. Interacción entre dislocación y esfuerzo aplicado
  - 3.6. Interacción entre dislocación y defectos puntual
  - 3.7. Tensión de línea
  - 3.8. Fuerzas imágenes
  - 3.9. Dislocaciones parciales
4. Plasticidad [Dieter G.E., Caps. 3 y 4; Ashby M.F. and Jones D.R.H.] (16 horas)
  - 4.1. Introducción
  - 4.2. Monocristales
  - 4.3. Dinámica de las dislocaciones
  - 4.4. Interacción entre dislocaciones
  - 4.5. Esfuerzo de cedencia y endurecimiento por trabajo
  - 4.6. Interacción entre defectos lineales y dislocaciones
  - 4.7. Endurecimiento de aleaciones

- 4.8. Otros aspectos del comportamiento plástico
5. Fractura [Dieter Cap. 7; Ashby and Jones ] (3 horas)
- 5.1. Introducción
  - 5.2. Mecánica de la fractura
  - 5.3. Aplicaciones. Consideración de la falla por fractura en el diseño de equipo
6. Fatiga [Dieter Cap. 12; Ashby and Jones] (3 horas)
- 6.1. Introducción
  - 6.2. Curva S-N. Límite de fatiga
  - 6.3. Iniciación de fisuras y su propagación
  - 6.4. Rapidez de propagación de fisura. Ley de Paris
  - 6.5. Factores que afectan la vida a la fatiga
  - 6.6. Aplicación. Casos de estudio de fatiga
7. Termofluencia [Dieter Cap. 13; Ashby and Jones.] (3 horas)
- 7.1. Introducción
  - 7.2. Mecanismos de difusión
  - 7.3. Mecanismos de la termofluencia
  - 7.4. Aplicaciones. Diseño con base en la termofluencia
8. Influencia de la microestructura sobre las propiedades mecánicas [Ashby and Jones] (20 horas)
- 8.1. Repaso de diagramas de fases de equilibrio
  - 8.2. Repaso de transformaciones de fase en estado sólido
  - 8.3. Tratamientos térmicos de las aleaciones metálicas. Otros mecanismos de endurecimiento
  - 8.3 Aleaciones no-ferrosas. Endurecimiento por precipitación
  - 8.4. Superplasticidad
9. Propiedades mecánicas de los materiales cerámicos [Ashby and Jones ] (6 horas)
- 9.1. Fractura frágil de los cerámicos
  - 9.2. Comportamiento elástico
  - 9.3. Cerámicas cristalinas y no cristalinas
  - 9.4. Influencia de la porosidad
  - 9.5. Dureza
  - 9.6. Termofluencia
  - 9.7. Vidrios, transición vítrea
10. Propiedades mecánicas de los materiales poliméricos [Ashby and Jones y Ward and Hadley] (12 horas)
- 10.1. Tipos de polímeros
  - 10.2. Comportamiento mecánico
  - 10.3. Mecanismos de deformación de polímeros semicristalinos
  - 10.4. Polímeros termoplásticos y termofijos

- 10.5. Viscoelasticidad.- Módulo de relajación
  - 10.6. Termofluencia viscoelástica
  - 10.7. Elastómeros
  - 10.8. Resistencia al impacto, fatiga, resistencia al desgarre
  - 10.9. Aditivos
  - 10.10. Aplicaciones
11. Materiales compuestos [Ashby and Jones] (6 horas)
- 11.1. Tipos de materiales compuestos
  - 11.2. Compuestos reforzados con partículas
  - 11.3. Compuestos reforzados con fibras
  - 11.4. Requerimientos para la matriz
  - 11.5. Refuerzos
12. Disponibilidad de los materiales (informativo) (2 horas)
- 12.1. Precio de los materiales. Factores que afectan el precio a largo y corto plazo
  - 12.2. Modelo de crecimiento exponencial
  - 12.3. Disponibilidad. Reserva y recurso de un material

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Dieter G.E., *Mechanical Metallurgy*, 4rd Edition, McGraw-Hill, 1995.
2. Nabarro F.R.N., *Theory of Crystal Dislocation*, Clarendon Press, Oxford, 1967.
3. Hirth J.P., Lothe J., *Theory of Dislocations*, McGraw-Hill Book, N.Y., 1968.
4. Ashby M.F. and Jones D.R.H., *Engineering Materials 1 & 2*, Pergamon Press, Oxford, 1980.
5. Young R.J., *Introduction to Polymers*, 2nd. Edition, Chapman and Hall, London, 1991.
6. Ward, I. M., Hadley D.W., *Mechanical Properties of Solid Polimers*, Macmillan, 1996

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Reed-Hill R.E. and Abbaschian R., *Physical Metallurgy Principles*, 3rd. Edition, PWS Publishing Company, Boston, 1994.
2. Felbeck D.K. and Atkins A.G., *Strength and Fracture of Engineering Solids*, 2nd. Edition, Prentice Hall Engineering, Science & Math., 1996.

## QUÍMICA DE LOS MATERIALES

12 CRÉDITOS

### OBJETIVOS

En este curso se presentan los elementos de estructura electrónica y molecular de las sustancias químicas necesarios para el estudio de los materiales. La idea fundamental es que los alumnos provenientes de diferentes carreras como física, ingeniería o química adquieran la base necesaria para incursionar en el estudio de los materiales. Para este curso se requiere que los estudiantes tengan conocimientos de química general, computación básica y álgebra lineal. Un alumno que no cursó materias de química en la licenciatura deberá cursar y aprobar la asignatura de Introducción a la Química de los Materiales. Este curso tiene una orientación teórica y requiere de 10 a 12 horas semanales de estudio.

### TEMARIO

1. Ecuación de Schrödinger para un electrón en un pozo de potencial. (6 horas)
  - 1.1. Función de onda. Condiciones en la frontera para la función de onda.
  - 1.2. Principio de incertidumbre de Heisenberg.
2. Átomo de hidrógeno, números cuánticos. (8 horas)
  - 2.1. Átomos multielectrónicos.
3. Enlace químico. (8 horas)
  - 3.1. Simetría de la función de onda.
  - 3.2. Fermiones y bosones.
4. Periodicidad. (12 horas)
  - 4.1. Propiedades electrónicas.
  - 4.2. Potencial de ionización, afinidad electrónica.
  - 4.3. Electronegatividad y carga nuclear efectiva.
5. Método de Hartree-Fock. (20 horas)
  - 5.1. Métodos post-Hartree-Fock.
  - 5.2. Teoría de orbitales moleculares (LCAO-MO).
  - 5.3. Método de Hückel.
  - 5.4. Enlace según la teoría LCAO-MO.
  - 5.5. Enlace covalente y enlace iónico.
  - 5.6. Enlaces de coordinación.
  - 5.7. Fuerzas intermoleculares.
6. Teoría de Fukui de orbitales frontera. (8 horas)
  - 6.1. Teoría de ácidos y bases basada en la teoría de Fukui.
  - 6.2. Ácidos y bases duros y blandos.
7. Teoría de enlace de valencia. (8 horas)

- 7.1. Hibridación y geometría molecular, teoría de resonancia, conjugación, efecto inductivo.
8. Teoría de bandas. (16 horas)
- 8.1. Aislantes, semiconductores y metales.
  - 8.2. Banda prohibida y su anchura.
  - 8.3. Densidad de estados.
  - 8.4. Dopaje.
  - 8.5. Semiconductores tipo n y tipo p.
  - 8.6. Diodos y fotocconductividad.
  - 8.7. Sólidos unidimensionales y bidimensionales, metales sintéticos.
  - 8.8. Poliacetileno, polianilina y pares orgánicos conductores.
9. Modelado Molecular. (10 horas)
- 9.1. Mecánica molecular clásica.
  - 9.2. Métodos semiempíricos.
  - 9.3. Métodos ab-initio.
  - 9.4. Métodos de funcionales de la densidad.
  - 9.5. Bases.
  - 9.6. Gaussian, NW-Chem, Spartan, Jaguar, Monte Carlo y métodos estadísticos.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Atkins P. W., *Physical Chemistry*, 7th Ed. New York : W.H. Freeman, 2002.
2. Leach, A. R., *Molecular Modelling: Principles and Applications*, 2nd Ed. Harlow, England ; New York : Prentice Hall, 2001.
3. Pope, Martin and Charles E. Swenberg. *Electronic Processes in Organic Crystals and Polymers*, 2nd ed. New York : Oxford University Press, (Monographs on the physics and chemistry of materials ; #56.),1999.

## TERMODINÁMICA DE MATERIALES

12 CRÉDITOS

### OBJETIVO

El objetivo del curso es presentar una termodinámica de materiales, con énfasis en aquellos temas y materiales relevantes a las aplicaciones modernas y de alto impacto en la innovación tecnológica. Presupone que el alumno ha cursado, al menos, un curso introductorio de termodinámica a nivel de licenciatura. Los principios que aquí se presentan se aplican a todas las formas de la materia y se planea cubrir los fundamentos macroscópicos de la termodinámica sin incidir en las propiedades estadísticas de sistemas de muchos cuerpos; cubre sistemas poliméricos, cerámicos, metálicos y de aleaciones, sistemas líquidos, así como sistemas capaces de realizar trabajo sin cambios en su volumen, tales como sistemas magnéticos, con fuerzas de superficie y otros sistemas de interés para la investigación en ciencia e ingeniería de materiales. Los fenómenos macroscópicos, de interés para los materiales, pueden ser explicados con base en su comportamiento microscópico y en este curso se enfatiza la relación entre los postulados e hipótesis de la materia macroscópica, con las propiedades microscópicas de la materia para su posterior fundamentación basado en la mecánica estadística. La temática a desarrollar se presenta en forma rigurosa y estructurada, de manera tal que se cubran completamente los fundamentos de la termodinámica de los materiales.

### TEMARIO

1. Propiedades termodinámicas de materiales. (Callen Caps. 1-4) (16 horas)
  - 1.1. Principios básicos de termodinámica. Ecuaciones de estado y fundamentales.
  - 1.2. Capacidades caloríficas y otras segundas derivadas.
  - 1.3. Potenciales termodinámicos.
  - 1.4. Aplicaciones de la tercera ley de la termodinámica.
  - 1.5. Relaciones de Maxwell.
  
2. Estabilidad y transiciones de fase. (Callen Caps. 4-8; DeHoff Caps. 5 y 7) (4 horas)  
Tester & Modell Caps. 6 y 7)
  - 2.1. Principio de Le-Chatelier Braun generalizado.
  - 2.2. Transiciones de primer y segundo orden: Ecuación de Van der Waals.
  - 2.3. Ecuación de Clapeyron.
  - 2.4. Regla de fases de Gibbs.
  - 2.5. Nucleación y crecimiento en transiciones de fase.
  - 2.6. Diagramas de sistemas unitarios heterogéneos.
  
3. Sistemas binarios (Callen Cap. 13; DeHoff Caps. 7, 8 y 11; Lupis Cap. VI) (12 horas)
  - 3.1 Soluciones binarias. Ideales, diluidas, regulares, otras.
    - 3.1.1. Gases ideales generales; mezclas
    - 3.1.2. Gases reales. Ecuación de Van der Waals.
  - 3.2. Ecuaciones de gases poco densos, métodos de expansión de Virial.
  - 3.3. Reacciones químicas; diagramas de potencial
    - 3.2.1. Estados fiduciarios, calor de reacción o formación
    - 3.2.2. Diagramas de dominio de Ellingham, Porbaix

4. Diagramas de fases de sistemas multicomponentes (DeHoff Caps. 9, 10; Lupis Cap. VII) (12 horas)
  - 4.1. Propiedades de exceso, leyes de Raoult y Henry, Fugacidad
    - 4.1.1. Soluciones líquidas y sólidas; función y coeficiente de actividad.
    - 4.1.2. Soluciones de polímeros y electrolitos.
  - 4.2. Puntos eutécticos, peritéticos.
  - 4.3. Descomposiciones espinodales y eutectoides.
  - 4.4. Diagramas de sistemas ternarios y cuaternarios.
  - 4.5. Puntos peritectoides, cuasiperitéticos.
  - 4.6. Diagramas de fases de compuestos: cerámicos.
  - 4.7. Transiciones martensíticas, de orden-desorden, vítreas.
  - 4.8. Superconductores cerámicos.
  
5. Ciclos termodinámicos: Carnot, endorreversibles (Sichev Caps. 3, 4; Tester y Modell Cap. XIII) (12 horas)
  - 5.1. Ciclos de máquinas modernas: Miller, Atkinson, Joules-Brayton, Ericsson, Brayton cuántico, etc.
  - 5.2. Ciclos con materiales magnéticos, dieléctricos, y de efectos mixtos.
  - 5.3. Modelado de ciclos híbridos.
  - 5.4. Optimización de ciclos de trabajo
    - 5.4.1. Trabajo máximo: Disponibilidad, exergía y anergía
    - 5.4.2. Optimización con base en criterios termo-ecológicos
    - 5.4.3. Principios de termo-economía.
  - 5.5. Optimización de ciclos en tiempo real.
  
6. Fenómenos de superficie (DeHoff Caps. 12, 13; Lupis Cap XIII, Tester y Modell Caps. 15-17) (6 horas)
  - 6.1. Ecuaciones termodinámicas y equivalente mecánico.
  - 6.2. Efectos de curvatura sobre equilibrio de fases.
  - 6.3. La formas de equilibrio de cristales.
  - 6.4. Gráficas de Wulff y ecuación de Laplace.
  - 6.5. Adsorción e isothermas de Langmuir.
  
7. Defectos en cristales (DeHoff Caps. 13, Lupis Cap. XIII, Tester Cap. 19) (6 horas)
  - 7.1. Defectos puntuales, intersticiales, divacancias.
  - 7.2. Defectos tipo Frenkel, Schottky y combinados.
  - 7.3. Cristales no-estequiométricos.
  - 7.4. Materiales amorfos, vidrios, con impurezas.
  
8. Materiales complejos: sistemas eléctricos, magnéticos, etc. (Sichev Caps. 3, 4) (10 horas)
  - 8.1. Variables termodinámicas para sistemas complejos.
  - 8.2. Materiales magnéticos: diamagnéticos, paramagnéticos, ferrimagnéticos y ferromagnéticos.
  - 8.3. Materiales eléctricos.
  - 8.4. Materiales superconductores.

8.5. Ciclos de trabajo en sistemas complejos.

9. Puntos críticos (Domb Caps. 1-3, Callen Cap. 9) (10 horas)
- 9.1. Teoría clásica y teoría moderna de puntos críticos.
  - 9.2. Modelo de van der Waals para ( $T > T_c$ ).
  - 9.3. Modelo de van der Waals para ( $T \leq T_c$ ).
  - 9.4. Divergencia de Wheeler and Griffiths.
  - 9.5. Leyes de escalamiento, universalidad.
  - 9.6. Teoría de campos promedios, exponentes universales.
  - 9.7. Adimensionalización y teoría de renormalización.

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. Callen Herbert B., “*Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics*”, 2nd. Edition, J. Wiley, 1985.
2. DeHoff Robert T., “*Thermodynamics in Material Science*”, 2nd. Ed., CRC Taylor and Francis, McGraw-Hill, Boca Raton, FL, USA, 2006.
3. Lupis C. H. P., “*Chemical Thermodynamics of Materials*”, North-Holland, Elsevier, 1983.
4. Tester J. W. and M. Modell, “*Thermodynamics and its applications*” 3rd. Ed., Prentice-Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 1997.
5. Sichev V. V., “*Complex Thermodynamic Systems*”, Mir Pbls. Moscow, Russia. 1981.
6. Domb, Cyril; “*The Critical Point*”, Taylor and Francis, McGraw Hill, 1996.

### **BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**

1. Hudson J., “*Thermodynamics of Materials*”, Volúmenes 1 y 2. John Wiley and Sons, New York, USA, 1996.
2. Price Gareth, “*Thermodynamics of Chemical Processes*”, Oxford University Press, Oxford, 1998.
3. Chandler David, “*Introduction to Modern Statistical Mechanics*”, Oxford Univ. Press, Oxford, UK, 1987.
4. Klotz I. M. and R. M. Rosenberg, “*Chemical Thermodynamics. Basic Theory and Methods*”, 5th. Ed., John Wiley and Sons, New York, 1994.
5. Aleksishvili M. & S. Sidamonidze, “*Problems in Chemical Thermodynamics with solutions*”, World Sci. Press, Singapore, 2002.
6. Devereux O. F. “*Topics in Metallurgical Thermodynamics*”, J. Wiley, New York, 1993.
7. Bard A. J. and M. Stratmann, “*Thermodynamics of electrified interfaces*”, Encyclopedia of Electrochemistry, Vol. 1, by E. Gilaedi and M. Urbakh, Eds., Wiley-VCH, Weinheim, Ger. 2002.
8. Doremus R. H., “*Rates of Phase Transformations*”, Academic Press, San Diego, CA, USA, 1985.
9. Glazov V. M. & Pavlova L. M. “*Semiconductor & Metal Binary Systems: Phase Equilibria and Chemical Thermodynamics*”, Consultant Bureau, New York, 1989.

10. Plischke M. & Bergersen B.; "*Equilibrium Statistical Physics*", 2nd. Edition, World Scientific, 1994.

## **4.3. ACTIVIDADES ACADÉMICAS DE LOS CAMPOS DE CONOCIMIENTO**

### **4.3.1. CAMPO DE CONOCIMIENTO DE MATERIALES CERÁMICOS.**

- Cristalografía.....95
- Difracción.....97
- Métodos de preparación de materiales cerámicos.....100
- Técnicas Espectroscópicas y Térmicas.....102

# CRISTALOGRAFÍA

8 CRÉDITOS

## OBJETIVOS

Proporcionar al alumno los conceptos básicos de los aspectos de simetría con la finalidad de obtener la información necesaria para comprender las diferentes técnicas espectroscópicas y cristalográficas.

## TEMARIO

1. Aspectos fundamentales de teoría de grupos (10 horas)
  - 1.1. Permutabilidad
  - 1.2. Conjugados
  - 1.3. Subgrupos
  - 1.4. Producto de grupos
  - 1.5. Grupos isomórficos
  - 1.6. Notación
  
2. Operaciones de simetría (8 horas)
  - 2.1. Traslación
  - 2.2. Reflexión
  - 2.3. Rotación
  - 2.4. Inversión
  
3. Estructuras Cristalinas (12 horas)
  - 3.1. Redes de Bravais
  - 3.2. Simetría de las redes cristalinas
  - 3.3. Celda unitaria y primitiva
  - 3.4. Índices de Miller y de Miller Bravais
  - 3.5. Direcciones cristalinas
  - 3.6. Red recíproca
  
4. Grupos puntuales (12 horas)
  - 4.1. Proyección estereográfica
  - 4.2. Redes de Wulff
  - 4.3. Los 32 grupos puntuales
  - 4.4. Grupos puntuales y propiedades físicas
  
5. Grupos espaciales (10 horas)
  - 5.1. Planos de deslizamiento
  - 5.2. Ejes helicoidales
  - 5.3. Clasificación de los grupos espaciales
  - 5.4. Grupos espaciales y propiedades físicas
  
6. Defectos cristalinos (4 horas)
  - 6.1. Puntuales

6.2. Lineales

6.3. Planares

7. Introducción a las técnicas de caracterización de materiales cristalinos (8 horas)

7.1. Difracción de rayos X y de neutrones

7.2. Microscopía electrónica

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Richard J.D. *Crystals and Crystal Structures*, John Wiley & Sons Ltd, 2006.
2. Giacovazzo C., Monaco H.L., Viterbo D., Scordari F., Gilli G., Zanotti G., Catti M., *Fundamentals of Crystallography*, Oxford University Press, 1992.
3. Borchardt-Ott. W., *Crystallography*, 2nd. Edition, Springer-Verlag, 1995.
4. Hyde, Bruce G. *Inorganic Crystal Structure*,. Wiley and Sons, 1989.
5. Wyckoff R.W., *Crystal Structures*, 2nd. Edition, Interscience Pub., 1966.
6. Wells A .F., *Structural Inorganic Chemistry*, Oxford University Press, 1984.
7. Phillips F.C. *Introducción a la Cristalografía*, Paraninfo, 1991.

## DIFRACCIÓN

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Establecer los principios fundamentales del fenómeno de difracción, haciendo énfasis en las características principales, geométricas y de simetría, de redes cristalinas. Discutir sus alcances como técnica de investigación en ciencia e ingeniería de materiales, especialmente en materiales cristalinos.

### TEMARIO

1. Principios básicos de interacción de radiación con la materia (14 horas)
  - 1.1. Naturaleza y producción de rayos X.
  - 1.2. Difracción de rayos X y de electrones:
    - 1.2.1. Dispersión de Thompson.
    - 1.2.2. Dispersión por electrones atómicos y por átomos individuales.
    - 1.2.3. Difracción por cristales.
    - 1.2.4. Análisis geométrico.
  - 1.3. La ley de Bragg.
  - 1.4. Condiciones de Laue.
  - 1.5. Esfera de reflexión.
  - 1.6. El espacio recíproco.
  - 1.7. Simetrías en el espacio recíproco.
  - 1.8. La ley de Friedel.
  - 1.9. Ausencias sistemáticas.
  - 1.10. Intensidades de difracción y detección de la radiación.
  - 1.11. Factores que afectan la intensidad de difracción:
    - 1.11.1. Factor de polarización.
    - 1.11.2. Factor de temperatura.
    - 1.11.3. Factor de dispersión atómica.
    - 1.11.4. Factor de estructura.
2. Estructura de la materia (8 horas)
  - 2.1. Índices de Miller.
  - 2.2. Sistemas cristalinos.
    - 2.3. Redes de Bravais.
    - 2.4. Defectos.
3. Métodos experimentales de difracción de rayos X (30 horas)
  - 3.1. Identificación del sólido.
  - 3.2. Archivos PDF (Powder Diffraction File) y JCPDS (Joint Committee of Powder Diffraction Standards).
  - 3.3. Parámetros de red.
  - 3.4. Polimorfos.
  - 3.5. Orden-desorden.
  - 3.6. Tamaño de cristal.

- 3.7. Esfuerzos.
- 3.8. Termodifracción.
- 3.9. Materiales no-cristalinos.

- 4. Programas de computación para difracción de rayos X (12 horas)
  - 4.1. PowderCell.
  - 4.2. Rietveld.
  - 4.3. FullProf.
  - 4.4. Topas.
  - 4.5. General Structure Analysis System (GSAS).

#### BIBLIOGRAFÍA

Libro de Texto:

1. Cullity B. D., *Elements of X-Ray Diffraction*, Addison-Wesley, Mass., 1956.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

1. Giacovazzo C., Monaco H.L., Viterbo D., Scordari F., Gilli G., Zanotti G., Catti M., *Fundamentals of Crystallography*, Oxford University Press, 1992.
2. Cowley J. M., *Diffraction Physics*, North Holland, 1975.
3. Wormald J., *Diffraction Methods*, Clarendon Press, 1973.
4. Wilson A. J. C., *Elements of X-Ray Crystallography*, Addison Wesley, 1970.
5. Ladd M. F. C. and Palmer R.A., *Structure Determination by X-ray Crystallography*, Plenum Press, 1978.
6. Klug H. P. and Alexander L. E., *X-Ray Diffraction Procedures (for Polycrystalline and Amorphous Materials)*, John Wiley and Sons, N.Y., 1974.
7. Azároff L.V., *Elements of X-Ray Diffraction*, McGraw Hill, N.Y., 1974.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Forwood C. T. and Larebrough L.M.C., *Electron Microscopy of Interfaces in Metals and Alloys*, Ed. Adam Hilger, 1991.
2. Bertin E.P., *Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis*, Plenum Press., N. Y., 1975.
3. León López E.G., *Física de los Cristales*, Limusa., México, 1984.
4. Jenkins R. and De Vries L., *Practical X-Ray Spectroscopy 2*, McMillan, LTD London, 1973.
5. Bermúdez J., *Teoría y Práctica de la Espectroscopía de Rayos -X*, Exedra, México, 1975.
6. Alexander L.E., *X-Ray Diffraction Methods in Polymer Science*, Wiley, N.Y., 1970.
7. Bonse, B., *Characterization of Crystal Defects by X-Ray Methods*, Plenum, N.Y., 1980.
8. Bloss F. D., *Crystallography and Crystal Chemistry. An Introduction*, Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1971.

9. Buerger M. J., *Elementary Crystallography an Introduction to the Fundamental Geometrical Features of Crystals*, John Wiley and Sons, Inc. N.Y., 1956.
10. West A. R., *Basic solid state chemistry*, John Wiley and sons, Nueva York (1988).
11. Baños L., *Preparación de especímenes para análisis por: difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X* La ciencia de materiales y su impacto en la arqueología, editado por D. Mendoza, E. L. Brito, J. A. Arenas, Innovación Editorial Lagares de México, Naucalpan, México (2004).
12. Besoain E., *Mineralogía de arcillas de suelos*, Instituto interamericano de cooperación para la agricultura, Serie de libros y materiales educativos #60, San José, Costa Rica (1985).
13. Brown G., *X-ray identification and crystal structures of clay minerals*, 2nd Ed., Mineralogical Society, Londrés (1961).
14. Fuentes Cobas L., *Introducción al método de Rietveld*, Escuela en Ciencia e Ingeniería de Materiales, 21-25 de junio de 2004, publicado por Sociedad Mexicana de Cristalografía A. C., México D.F., (2004).
15. Guinebretière R., *X-ray diffraction by polycrystalline materials*, ISTE Ltd, Londres, (2007).
16. Guinier A., *Théorie et technique de la radiocristallographie*, Dunod, Paris, (1964).
17. Moore D. M., Reynolds, Jr R. C., *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*, Oxford University Press, Oxford (1989).
18. Van Meerssche M., Feneau-Dupont J., *Introduction à la Cristallographie et à la Chimie Structurale*, Vander éditeur, Lovaina (1973).
19. Warren B. E., *X-ray diffraction*, Addison-Wesley publishing company, Reading Massachussets (1969).

## MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

El alumno conocerá y desarrollará habilidades en la preparación de materiales cerámicos utilizando diferentes técnicas y evaluará las ventajas y desventajas de cada uno de estos métodos.

### TEMARIO

1. Reacción en estado sólido (6 horas)
2. Métodos precursores (6 horas)
  - 2.1. La coprecipitación como un precursor
3. Química suave (14 horas)
  - 3.1. Sol gel
  - 3.2. Intercambio iónico
  - 3.3. Reacciones de intercalación
4. Métodos alternativos (12 horas)
  - 4.1. Métodos de transporte en fase de vapor
  - 4.2. Preparación de películas delgadas
  - 4.3. Métodos electroquímicos
  - 4.4. Métodos físicos
  - 4.5. Método de combustión
5. Métodos de alta presión e hidrotérmicos (6 horas)
6. Procesamiento de materiales por microondas (6 horas)
7. Sinterización (6 horas)
8. Cristalización (4 horas)
  - 8.1. Soluciones
  - 8.2. Vidrios
9. Crecimiento de cristales (4 horas)
  - 9.1. Método de Czochralsky
  - 9.2. Métodos de Bridgman y Stockbarger
  - 9.3. Zona de fusión
  - 9.4. Precipitación: el método de flujo
  - 9.5. Crecimiento epitaxial de películas delgadas
  - 9.6. Método de Verneuil

## BIBLIOGRAFÍA

Libro básico:

1. West A.R., *Solid State Chemistry and its Applications*, John Wiley & Sons, 1984.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Segal D., *Chemical Synthesis of Advanced Ceramic Materials, Chemistry of Solid State Materials I*, Cambridge University Press 1991.
2. Hagemuller P., Editor, *Preparative Methods in Solid State Chemistry*, Academic Press., 1972.
3. Cheetham A.K., and Day P., *Solid State Chemistry. Techniques*, Oxford University Press., 1987.
4. Fernández Lozano J. F. y de Frutos Vaquerizo J., Editores. *Introducción a la Electrocerámica*. Editado por Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones. Madrid, 2003.
5. Brinker C. J. and Scherer G. W., *Sol Gel Science. The Physics and Chemistry of Sol-gel Processing*, Academic Press, 1990.
6. Rahaman M. N., *Ceramic Processing*. University of Missouri-Rolla, USA. CRC Press, 2007.
7. Rahaman M. N., *Sintering of Ceramics*. University of Missouri-Rolla, USA. CRC Press, 2008.

## TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS Y TÉRMICAS

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Analizar y discutir los conceptos fundamentales de algunos métodos espectroscópicos y térmicos para su interpretación y aplicación en los materiales cerámicos.

### TEMARIO

1. Espectroscopía infrarroja y Raman (24 horas)
  - 1.1. Introducción y teoría
  - 1.2. Instrumentación
  - 1.3. Manejo de las muestras
  - 1.4. Interpretación de los espectros
  - 1.5. Aplicaciones
  
2. Espectroscopía de absorción UV-visible (20 horas)
  - 2.1. Introducción y teoría
  - 2.2. Manejo de muestras
  - 2.3. Interpretación de los espectros
  - 2.4. Aplicaciones
  
3. Análisis térmico (20 horas)
  - 3.1. Análisis termogravimétrico
  - 3.2. Calorimetría diferencial de barrido
  - 3.3. Análisis térmico diferencial
  - 3.4. Aplicaciones

### BIBLIOGRAFÍA

1. West A.R., *Solid State Chemistry and its Applications*, Wiley & Sons, 1984.
2. Nakamoto, K. *Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*, Wiley & Sons, 1986.
3. Wunderlich B., *Thermal Analysis*, Academic Press Inc., 1990.
4. Pilkey W.D., *Mechanics of Structures: Variational and Computational*, CRC Press, 1994.

### **4.3.2. CAMPO DE CONOCIMIENTO DE MATERIALES COMPLEJOS.**

- Fenómenos de Superficie.....104
- Mecánica de Fluidos y Transferencia de Calor.....107
- Mecánica de Sólidos.....110
- Reología.....113
- Termodinámica Estadística de los Materiales.....115

## FENÓMENOS DE SUPERFICIE

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

### TEMARIO

1. Tensión superficial. Líquidos puros. (4 horas)
  - 1.1. Diagramas de equilibrio PVT con relación a la interfase.
  - 1.2. Punto crítico.
  - 1.3. Exponentes críticos.
  - 1.4. Contribuciones aditivas y constitutivas.
  - 1.5. Paracoro.
  - 1.6. Familias homólogas.
  - 1.7. Contribución por grupos.
  - 1.8. Fuerzas específicas.
  
2. Potenciales termodinámicos de la interfase. (4 horas)
  - 2.1. Energía interna.
  - 2.2. Entalpía, energía libre.
  - 2.3. Entropía de superficie.
  - 2.4. Energía total de superficie.
  - 2.5. Potencial químico.
  - 2.6. Ecuación de Gibbs-Duhem.
  
3. Fuerzas intermoleculares. (4 horas)
  - 3.1. Dipolo.
  - 3.2. Dipolo inducido.
  - 3.3. Puente de hidrógeno.
  - 3.4. Fuerzas de dispersión de London.
  
4. Potenciales químicos de superficie. (4 horas)
  - 4.1. Ecuación de adsorción de Gibbs.
  - 4.2. Mezclas binarias de no electrolitos.
  - 4.3. Régimen a dilución infinita.
  - 4.4. Gas ideal bidimensional.
  - 4.5. Regla de Traube.
  - 4.6. Energía estándar de adsorción.
  - 4.7. Aneotropía.
  
5. Isotermas de adsorción. (10 horas)
  - 5.1. Ecuaciones de estado bidimensionales.
  - 5.2. Langmuir.
  - 5.3. BET.
  - 5.4. Volmer.
  - 5.5. D'Boer.
  - 5.6. Cassel.

- 5.7. Contenido termodinámico.
6. Actividad. Fugacidad. (8 horas)
- 6.1. Coeficientes de actividad. Margules.
  - 6.2. Van Laar.
  - 6.3. Solución regular.
  - 6.4. Wilson.
  - 6.5. NRTC.
  - 6.6. UNIQUAC.
7. Anfifilos. (8 horas)
- 7.1. Agregación, micelización.
  - 7.2. Condiciones de frontera.
  - 7.3. Condiciones de saturación.
  - 7.4. Energía estándar de adsorción.
  - 7.5. Energía estándar de micelización.
  - 7.6. Número de agregación.
  - 7.7. Concentración micelar crítica.
  - 7.8. Efecto de la temperatura.
  - 7.9. Efectos de electrolitos.
  - 7.10. Número de agregación en función de la temperatura y/o concentración de electrolitos.
8. Tensoactivos no iónicos etóxilados. (8 horas)
- 8.1. Punto crítico de solubilidad inferior.
  - 8.2. Series homólogas. Cristales líquidos.
  - 8.3. Anisotropía. Mesofases.
  - 8.4. Coeficientes de actividad a dilución infinita.
  - 8.5. Relaciones energías estándar de adsorción y micelización.
  - 8.6. Contribuciones hidrofílicas-hidrofóbicas.
  - 8.7. Distribución de masas moleculares.
9. Curvatura y termodinámica. (4 horas)
- 9.1. Ecuación de Young-Laplace.
  - 9.2. Ecuación de Kelvin.
  - 9.3. Potenciales químicos en superficies curvas.
  - 9.4. Mojado. Ángulo de contacto.
  - 9.5. Nucleación.
10. Métodos de medición de tensión superficial. Métodos basados en la forma y en rompimiento. (4 horas)
11. Tensión superficial dinámica. Efecto Marangoni. Difusión controlante. Espumas. (2 horas)
12. Microemulsiones. Temperatura de inversión de fases. Diagramas ternarios. Diagramas de Winsor. (2 horas)

Trabajo de adhesión. Cohesión. Extensión. Relación tensión superficial, Tensión interfacial.  
Transiciones de mojado. (2 horas)

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Prausnitz J.M., Lichtenthaler R.N., Gomes de Acevedo E., *Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria*. Third Edition, Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall PTR, c1999.
2. Poling B.E., Prausnitz J.M., O'Connell J.P. *The properties of gases and liquids*. Fifth Edition. New York, McGraw-Hill, c2001.
3. Kensington A.N., *The Physics and Chemistry of Surfaces*, New York, Dover Publications Inc. 1968
4. Adamson A.W. and Gast A.P., *Physical Chemistry of Surface*, Sixth Edition New York, Wiley, c1997.
5. Davies, J. T. & Rideal E. K., *Interfacial Phenomena*, New York, Academic Press, 1961.
6. Myers, D., *Surfactant Science and Technology*, Second Edition, New York, VCH, c1992.
7. Hiemenz, P.C., *Principles of Colloid and Surface Chemistry*, Second Edition, New York, M. Dekker Inc., 1986.
8. Morton R., Ed. *Nano-Surface Chemistry*, New York-Basel, M. Dekker Inc. 2001.
9. Stokes R.J. and Evans D.F., *Fundamentals of Interfacial Engineering*, Minn USA, Wiley-VCH, 1997.
10. Birdi K.S., Consultant, *Handbook of Surface and Colloid Chemistry*, CRC Press, Charlottenlund, Denmark, 2008.
11. Derjaguin, B.V., *Theory of Stability of Colloid and Thin Films*, Plenum Pub. Corp. New York, 1989.
12. Gammon B.E., Marsh K.N. and Dewan A.K.R., *Transport Properties and Related Thermodynamics Data of Binary Mixtures Part 2*. Desing Institute for Physical Property Data, New York, 1994.
13. Ross S. and Morrison I.D., *Colloidal Systems and Interfaces*, New York, John Wiley & Sons, 1988.
14. Bloor D.M. and Wyn-Jones E. Ed. *The Structure, Dynamics and Equilibrium Properties of Colloidal Systems*, Dordrecht, Boston, Kluwer Academic Publishers, 1990.
15. Van Os N.M, Haak, J.R., Rupert, L.A.M., *Physico-Chemical Properties of Selected Anionic, Cationic and Nonionic Surfactants*, Amsterdam, New York, Elsevier, 1993.
16. Billing G.D., *Dynamics of Molecule Surface Interactions*, New York, John Wiley & Sons, Inc, c2000.
17. Morrison, S.R., *The Chemical Physics of Surfaces*; 2<sup>nd</sup>. Ed., New York, Plenum Press, c1990.

# MECÁNICA DE FLUIDOS Y TRANSFERENCIA DE CALOR

8 CRÉDITOS

## OBJETIVO

En este curso se estudiarán los fenómenos asociados con la transferencia de momento y calor fundamentalmente en sistemas con flujo laminar. En este curso se exponen las metodologías de tipo teórico para el estudio de fluidos. Primero se estudian los fundamentos de la Mecánica de fluidos en el marco de la Mecánica del Medio Continuo y se obtienen las ecuaciones básicas del flujo. En seguida, se estudia el flujo sin tomar en cuenta la viscosidad. Este caso es importante cuando se analiza lejos de las fronteras. El análisis dimensional es importante para entender las leyes de similitud geométrica y dinámica de flujos a distintas escalas. Cuando el flujo es unidireccional, no aparecen los términos no lineales de las ecuaciones de movimiento, que es ventajoso para entender el comportamiento más elemental de los fluidos. Cuando el flujo es muy lento se pueden linealizar las ecuaciones de movimiento para obtener soluciones. En muchos casos prácticos el flujo es muy rápido y las ecuaciones se pueden simplificar aplicando las ideas de capa límite, que es la capa de fluido en la que se sienten, de manera importante, los efectos viscosos. Finalmente, se estudiarán los efectos de los flujos, estudiados en el curso, sobre la transferencia de calor. Es requisito para este curso tener conocimientos de Mecánica de Medios Continuos.

## TEMARIO

1. Fundamentos (14 horas)
  - 1.1. Conservación de masa
  - 1.2. Conservación de momento lineal y angular
  - 1.3. Conservación de energía
  - 1.4. Ecuaciones constitutivas. Fluidos newtoniano y no-newtonianos
  - 1.5. Ecuaciones de Navier-Stokes
  - 1.6. Condiciones de frontera
  
2. Flujos de fluidos no-viscosos (8 horas)
  - 2.1. Flujo potencial bidimensional
  - 2.2. Flujo potencial tridimensional
  
3. Flujos unidireccionales lineales. Soluciones exactas de flujos sin inercia (12 horas)
  - 3.1. Escalas características y análisis dimensional
  - 3.2. Flujo de Couette, Flujo de Poiseuille y Flujo de Couette-Poiseuille
  - 3.3. Flujo con superficie libre por un plano inclinado
  - 3.4. Soluciones de similitud. Problema de Rayleigh. Flujo en una pared oscilatoria
  - 3.5. Flujos de Couette y de Poiseuille oscilatorios y su relacion con la capa limite
  - 3.6. Flujo transitorio
  - 3.7. Flujo en el interior de un cilindro y en cilindros concéntricos.
  
4. Flujos lentos (8 horas)

- 4.1. Flujo lento lineal bidimensional
- 4.2. Soluciones en términos de la función de corriente
- 4.3. Soluciones por desarrollos de funciones propias
  
- 5. Capas límite (10 horas)
  - 5.1. Ecuación de flujo en la capa límite
  - 5.2. Solución de Blasius
  - 5.3. Solución de Falkner-Skan
  
- 6. Transferencia de Calor (12 horas)
  - 6.1. Transferencia de calor forzada. Generalidades
  - 6.2. Análisis dimensional: Número de Peclet y número de Eckert
  - 6.3. Transferencia de calor por conducción
  - 6.4. Transferencia de calor en flujos: Couette, Poiseulle y Couette-Poiseulle.
  - 6.5. Transferencia de Calor en capas límite.
  - 6.6. Flujo alrededor de una esfera a pequeño Número de Reynolds

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Currie, I. G., *Fundamental Mechanics of Fluids*, 3rd Edition, Marcel Dekker (2003), (Texto básico)
2. Leal, G. L., *Laminar Flow and Convective Heat Transfer. Asymptotic Solutions and Applications*. Butterworth-Heinemann, Boston, 1992.
3. Rogers D. F., *Laminar Flow Analysis*, Cambridge University Press, New York, 1992.

#### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. Pozrikidis C., *Introduction to Theoretical Computational Fluid Dynamics*, Oxford Univ. Press, Oxford, UK, 1997.
2. Ockendon H., and Ockendon J.R., *Viscous Flow*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 1995.
3. Barenblatt G.I., *Dimensional Analysis*, Gordon and Breach Sci. Pub., N.Y., 1987.
4. Durst F., *Fluid mechanics: an introduction to the theory of fluid flows*, Springer, Berlin, 2008.
5. Kundu, P. K. and Cohen, I. N., *Fluid Mechanics*, 4th ed., Academic Press, Amsterdam, 2008.
6. Yamaguchi, H., *Engineering Fluid Mechanics*, Springer, Dordrecht, Paises Bajos, 2008.
7. Graebel, W. P., *Advanced Fluid Mechanics*, Academic Press Burlington, Massachusetts, 2007.
8. Kambe, T., *Elementary Fluid Mechanics*, World Scientific New Jersey, 2007.
9. Lighthill J., *An Informal Introduction to Theoretical Fluid Mechanics*, Clarendon Press, Oxford, 1986.

10. O'Neill M.E., and Chorlton F., *Ideal and Incompressible Fluid Dynamics*, John Wiley, N.Y., 1986.
11. O'Neill M.E., and Chorlton F., *Viscous and Compressible Fluid Dynamics*. C. E. Horwood ; new york, 1989.
12. Bejan A., *Heat Transfer*, John Wiley, N.Y., 1993.
13. Incropera F.P., and DeWitt D.P., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 3rd. Edition, John Wiley, N.Y., 1990.
14. Guthrie R. I. L., *Engineering in Process Metallurgy*, Clarendon Press, Oxford, 1992

## MECÁNICA DE SÓLIDOS

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Conocer y dominar los métodos de solución para determinar los estados de esfuerzos, deformaciones y campos de desplazamiento en; elementos mecánicos axisimétricos; en aquellos cuyas características geométricas permitan conceptualizar el estado de deformaciones como plano, así también se analizarán las soluciones para placas, columnas y membranas. En el curso se determinará el comportamiento considerando tanto sólidos elásticos lineales isotrópicos como anisotrópicos. Por otra parte se analizará el comportamiento bajo la consideración de no linealidad y grandes deformaciones en el sólido elástico. Es requisito para este curso que el alumno tenga conocimientos de Mecánica de Medios Continuos.

### TEMARIO

1. El concepto de esfuerzo y deformación (8 horas)
  - 1.1. Descripción tensorial del estado de deformaciones.
  - 1.2. Descripción Lagrangiana y Euleriana del campo de desplazamientos. Gradiente de deformación.
  - 1.3. Teorema de descomposición polar.
  - 1.4. Tensor de Cauchy-Green por derecha. Tensor Lagrangiano de deformación. Tensor de deformación de Cauchy-Green por izquierda. Tensor Euleriano de deformación. Tensor Infinitesimal de deformación.
  - 1.5. El vector de esfuerzos. Componentes del tensor de esfuerzos. El tensor de esfuerzos de Cauchy. Primer tensor de esfuerzos de Piola-Kirchhoff. Segundo tensor de esfuerzos de Piola-Kirchhoff. Condiciones de aplicación de éstos. Representación del estado de esfuerzos y deformaciones en el círculo de Mohr.
  
2. Teoría de la elasticidad (12 horas)
  - 2.1. Conceptos básicos.
  - 2.2. El sólido elástico homogéneo lineal e isotrópico. Ecuación constitutiva, relaciones entre las constantes elásticas.
  - 2.3. Teoría infinitesimal de la elasticidad.
  - 2.4. Análisis del estado de esfuerzos y deformaciones bajo condiciones simples. Carga uniaxial. Torsión en una barra de sección circular y no circular, flexión pura. Condiciones de esfuerzos planos y de deformación plana. Funciones de Airy. Problemas de deformación plana en coordenadas polares. Cilindro circular de pared gruesa bajo presión interna y externa. Flexión pura en una viga curvada. Concentración de esfuerzos debidos a la presencia de un barreno pequeño de sección circular en una placa sometida a una condición uniaxial de carga. Esfera hueca sujeta a presiones internas y externas.
  - 2.5. El sólido elástico lineal y anisotrópico, sólido elástico lineal monotrópico, ortotrópico y transversalmente isotrópico. Sus ecuaciones constitutivas.

- 3. Criterios de falla (4 horas)
  - 3.1. Desarrollo histórico de los criterios de falla.
  - 3.2. Falla por fluencia
  - 3.3. Falla por fractura
  - 3.4. Criterios de fluencia y fractura.
  - 3.5. Criterio de Tresca o del esfuerzo cortante máximo
  - 3.6. Criterio de von Mises-Hencky o de la máxima energía de distorsión
  - 3.7. Cortante octaédrico
  - 3.8. Esfuerzo eficaz o de von Mises
  - 3.9. Deformación eficaz
  - 3.10. Lugar geométrico de la fluencia. Efecto de la anisotropía y del endurecimiento por trabajo.
  - 3.11. Criterios de fatiga para falla de metales. Fatiga a bajo número de ciclos.
  - 3.12. Fatiga bajo cargas combinadas.
  - 3.13. Cargas dinámicas.
  - 3.14. Efecto térmico.
  
- 4. Aplicaciones bajo condiciones de sólido elástico isotrópico (4 horas)
  - 4.1. Flexión en vigas. Soluciones exactas. Soluciones aproximadas.
  - 4.2. Vigas curvadas
  - 4.3. Torsión en vigas. Elementos cargados axisimétricamente.
  - 4.4. Métodos numéricos.
  - 4.5. Vigas en cimentaciones elásticas.
  
- 5. Métodos energéticos (4 horas)
  - 5.1. Trabajo desarrollado durante la deformación. Teorema de reciprocidad. Teorema de Castigliano. Teorema de Crotti-Engesser.
  - 5.2. Sistemas estáticamente indeterminados.
  - 5.3. Principio de trabajo virtual.
  - 5.4. Método de Rayleigh-Ritz.
  
- 6. Estabilidad Elástica (4 horas)
  - 6.1. Cargas críticas.
  - 6.2. Pandeo en columnas.
  - 6.3. Solicitaciones críticas en columnas.
  - 6.4. Esfuerzos permisibles.
  - 6.5. Elementos inicialmente curvados.
  - 6.6. Elementos sometidos a cargas excéntricas.
  - 6.7. Métodos energéticos aplicados al pandeo de columnas.
  
- 7. Placas y membranas (6 horas)
  - 7.1. Flexión en placas delgadas. Placas rectangulares con apoyo simple. Placas circulares axisimétricamente cargadas.
  - 7.2. Determinación de las deformaciones en placas rectangulares mediante el método de la energía.
  - 7.3. Esfuerzos en membranas.

8. Comportamiento plástico de los materiales (4 horas)
  - 8.1. La deformación plástica.
  - 8.2. Comportamiento esfuerzo-deformación en el rango plástico.
  - 8.3. Deformación permanente en vigas.
  - 8.4. Análisis bajo la consideración de sólido rígido-plástico
  - 8.5. Condiciones de colapso.
  - 8.6. Torsión elasto-plástica.
  - 8.7. Esfuerzos en discos rotatorios bajo condiciones elasto-plásticas.
  - 8.8. Relaciones esfuerzo-deformación en el rango plástico. Ecuaciones de Levy-Mises. Comportamiento elásto-plástico, las ecuaciones de Prandtl-Reuss. Teoría del potencial plástico.
  
9. Elasticidad bajo condiciones de grandes deformaciones (10 horas)
  - 9.1. Conceptos básicos.
  - 9.2. El sólido elástico isotrópico bajo grandes deformaciones.
  - 9.3. Ecuación constitutiva.
  - 9.4. Casos particulares: Deformación bajo una condición uniaxial de carga de un sólido elástico isotrópico e incompresible. Deformación por esfuerzos de corte.
  - 9.5. Flexión en una barra de sección rectangular.
  - 9.6. Carga uniaxial y torsión en una barra de sección circular.
  
10. Método del elemento Finito (8 horas)
  - 10.1. Principios fundamentales.
  - 10.2. Aplicación del MEF en problemas elásticos uniaxiales.
  - 10.3. Aplicación del MEF en problemas elásticos biaxiales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ugural A.C. & Fenster S.K., *Advanced Strength and Applied Elasticity*, Prentice Hall, New Jersey, USA, 2003.
2. Lay M. & Rubin D., *Introduction to Continuum Mechanics*, Ed. Butterword Heinemann, Oxford, 1996.
3. Barber J.R., *Elasticity (Solid mechanics and its applications)*, Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.
4. Sadd M.H., *Elasticity Theory, applications and numerics*, Ed. Elsevier Academic Press, Oxford U.K., 2009
5. Boresi A.P. & Chong K.P., *Elasticity in engineering mechanics*, Ed. John Wiley & sons, New York, 2000
6. Atanackovic T.M. & Guran A., *Theory of elasticity for scientist and engineers*, Ed. Birkhäuser, Boston, 2000
7. Lurie A.I. & Belyaev A.K., *Theory of elasticity (foundations of engineering mechanics)*, Ed. Springer, Berlin, 2005

# REOLOGÍA

8 CRÉDITOS

## OBJETIVO

El objetivo de este curso es adquirir conocimientos y bases conceptuales sobre los procesos de deformación de la materia y sobre el flujo de materiales viscoelásticos. La deformación y flujos de materiales complejos permiten el estudio del procesamiento de polímeros y de flujos de fluidos complejos, los cuales tienen aplicaciones en numerosos campos de la industria y la investigación. Es requisito para esta asignatura el haber cursado las materias de Mecánica de Medios Continuos y Mecánica de Fluidos.

## TEMARIO

1. Fenómenos exhibidos por el flujo de líquidos poliméricos (12 horas)
  - 1.1. Introducción
  - 1.2. Flujo Poiseuille
  - 1.3. Clasificación de los fluidos
  - 1.4. Efecto Weissenberg
  - 1.5. Flujo axial-anular
  - 1.6. Error en la medición por tomas de presión
  - 1.7. Flujo en la boquilla de un extrusor
  - 1.8. Flujos secundarios
  - 1.9. Flujo a través de contracciones
  - 1.10. Reducción de la fuerza de arrastre
  
2. Funciones materiales de los fluidos poliméricos (14 horas)
  - 2.1. Introducción
  - 2.2. Clasificación de los tipos de flujos
  - 2.3. Funciones viscométricas en flujo cortante a régimen estacionario
  - 2.4. Funciones materiales en régimen transitorio
  - 2.5. Crecimiento del esfuerzo al comienzo de un flujo cortante
  - 2.6. Relajación
  - 2.7. Sistemas viscométricos: cono y placa
  - 2.8. Viscosímetro capilar
  - 2.9. Flujos elongacionales
  
3. Viscoelasticidad lineal (12 horas)
  - 3.1. Introducción
  - 3.2. Principio de superposición de Boltzmann
  - 3.3. El fluido de Maxwell
  - 3.4. Movimiento oscilatorio de pequeña amplitud
  - 3.5. Modelo generalizado de Maxwell
  - 3.6. El modelo de Jeffreys
  
4. Viscoelasticidad no lineal (14 horas)
  - 4.1. Introducción

- 4.2. Movimiento del continuo y las derivadas de Oldroyd
  - 4.3. Modelos cuasilineales
  - 4.4. Modelo correlacional de Jeffeys
  - 4.5. Modelo de Goddard-Miller
  - 4.6. Modelo de Oldroyd "B"
  - 4.7. Modelos viscoelásticos no lineales
  - 4.8. Ecuaciones constitutivas aplicadas para pequeñas deformaciones
  - 4.9. Expansiones de las integrales de memoria
  - 4.10. Flujos dominados por la viscosidad cortante
5. Modelos moleculares (12 horas)
- 5.1. El modelo de Rouse
  - 5.2. Modelo de Zimm
  - 5.3. Funciones materiales
  - 5.4. El modelo de la mancuerna (dumbbell)
  - 5.5. Ecuación de conservación de la función de distribución
  - 5.6. Ecuación de difusión
  - 5.7. Efectos anisotrópicos
  - 5.8. Cálculo de las funciones materiales
  - 5.9. Comparación con los experimentos
  - 5.10. Comparación con las predicciones de los modelos continuos

## BIBLIOGRAFÍA

1. Larson R.G., *The Structure and Rheology of Complex Fluids*, Oxford University Press, Oxford, UK, 1999.
2. Macosko C.W., *Rheology. Principles, Measurements, and Applications*, Wiley-VCH, New York, USA, 1994
3. Brummer R., *Rheology Essentials of Cosmetics and Food Emulsions*, Springer Verlag, Berlin, Ger. 2006
4. Doi M. and Edwards S., *The Theory of Polymer Dynamics*, Oxford University Press, Oxford, U.K., 1986.
5. Bird R.B., Curtiss C.F., Armstrong R.C. and Hassager O., *Dynamics of Polymeric Liquids, Vol. I & II*, John Wiley & Sons, New York, 1987.
6. Larson R.G., *Constitutive Equations for Polymer Melts and Solutions*, Butterworths, Boston, 1988.
7. Janeschitz-Kriegl H., *Polymer Melt Rheology and Flow Birefringence*, Springer Verlag, N.Y., 1983.
8. Fredrickson A.G., *Principles and Applications of Rheology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1964.
9. Schowalter W., *Mechanics of Non-Newtonian Fluids*, Pergamon Press, Oxford, 1978.
10. Boger D.V. and Walters K., *Rheological Phenomena in Focus*, Elsevier, Amsterdam, 19

## TERMODINÁMICA ESTADÍSTICA DE LOS MATERIALES

8 CREDITOS

### OBJETIVOS

El objetivo del curso es ofrecer a los alumnos, que ya cuentan con una buena base de termodinámica clásica de sistemas en equilibrio, la oportunidad de profundizar sus conocimientos tomando en cuenta el carácter microscópico de la materia. Especial cuidado se da a una presentación del formalismo de la termodinámica considerando las ideas originales de Gibbs de ensembles y con base en el esquema postulador de Tisza. Igualmente, se ha considerado el objetivo de comprender aquellos temas que la termodinámica clásica no logra explicar de manera completa. Asimismo, se busca aplicar las herramientas de sistemas constituidos por partículas microscópicas a sistemas de relevancia a las ciencias de materiales, por encima de aquellas otras aplicaciones de las ciencias físicas básicas. Es recomendable que el alumno cuente con los conocimientos del curso de Termodinámica de los Materiales.

### TEMARIO

1. Formulación axiomática de la termodinámica de Tisza  
(Callen Cap. 12, Plischke & Bergersen Cap. 1; Chaikin & Lubensky Cap. 3)  
(12 horas)
  - 1.1. Descripción de sistemas termodinámicos en términos de variables extensivas
  - 1.2. La importancia de estados microscópicos en la descripción de los estados de equilibrio termodinámico
  - 1.3. Los postulados de Tisza para la termodinámica clásica
  - 1.4. La equivalencia de principios extremales para la entropía y la energía
  - 1.5. Las variables extensivas, la ecuación de Euler y la relación Gibbs-Duhem
  - 1.6. Las transformaciones de Legendre, los potenciales termodinámicos y las funciones de trabajo máximo.
  - 1.7. Las relaciones de Maxwell, funciones de respuesta y los diagramas mnémicos de Born
  - 1.8. Criterios de estabilidad termodinámica, reglas de coexistencia de fases y de Gibbs
  - 1.9. Puntos críticos, parámetros de orden, modelo de Landau, exponentes universales
2. Fundamentos de Mecánica Estadística (24 horas)
  - 2.1 El ensemble microcanónico (Callen Cap. 15, Plischke & Bergersen Cap. 2)
    - 2.1.1. Los posibles estados de un sistema termodinámico cerrado
    - 2.1.2. Conocimiento y probabilidad
    - 2.1.3. Distribuciones de probabilidad, valores promedio y sus momentos
    - 2.1.4. Los postulados para la termoestadística de Tisza
    - 2.1.5. Estadística de grandes números y sistemas multidimensionales

- 2.1.6. La entropía como función de los estados accesibles a un sistema cerrado
- 2.1.7. El modelo de un sólido cristalino de Einstein y su capacidad calorífica a bajas temperaturas
- 2.1.8. Un sistema clásico de dos estados y sin interacción. El caso de polarización magnética
- 2.1.9. Los elastómeros y el modelo de Kuhn
- 2.2. El ensemble canónico: sistemas a temperatura constante.  
(Callen Cap. 16; Plischke & Bergersen Cap. 1)
  - 2.2.1. La distribución canónica y la función canónica de partición de un gas simple
  - 2.2.2. La aditividad de las energías y la factorización de la función de partición
  - 2.2.3. Termostadística de pequeños ensembles, la densidad de estados orbitales
  - 2.2.4. Modelo para un sólido cristalino de Debye
  - 2.2.5. Radiación de cuerpo negro y ley de Stefan-Boltzmann
  - 2.2.6. La densidad clásica de estados y gas ideal clásico
- 2.3. Entropía y desorden. Formulaciones canónicas generales y sistemas cuantizados  
(Callen Cap. 17, 18; Plischke & Bergersen Cap. 2)
  - 2.3.1. Distribuciones de máximo desorden
  - 2.3.2. Sistemas abiertos: El ensemble gran canónico
  - 2.3.3. Fermiones y bosones. Estadística cuántica y matriz de densidad
  - 2.3.4. Estadística de fermiones sin interacción
  - 2.3.5. Estadística de bosones sin interacción
  - 2.3.6. Distribuciones de máxima entropía en sistemas fermiónicos
  - 2.3.7. Estadística de defectos en un sólido de Schottky
  - 2.3.8. Fluidos fermiónicos: Proto-gas –con spin– y gas ideal de Fermi
  - 2.3.9. Energías de Fermi y capacidad calorífica de fermiones a bajas temperaturas
  - 2.3.10. Criterio cuántico y límite clásico
  - 2.3.11. Régimen cuántico fuerte: el caso de gases de electrones en metales
  - 2.3.12. Fluido ideal de Bose y radiación de cuerpo negro
  - 2.3.13. Condensación de Bose, energía y capacidad calorífica
- 2.4. Fluctuaciones y teoría de campo promedio  
(Callen Cap. 19, 20; Plischke & Bergersen Cap. 3)
  - 2.4.1. Funciones de distribución para fluctuaciones
  - 2.4.2. Los momentos y funciones de correlación de las fluctuaciones de energía
  - 2.4.3. Teoría de campo promedio, propiedades variacionales y métodos perturbativos
- 3. Aplicaciones de mecánica estadística a los materiales  
(Callen Cap. 19, 20; Plischke & Bergersen Cap. 3, 4; Domb Caps. 1-4; Chaikin & Lubensky Cap. 4) (28 horas)

- 3.1. Campo promedio y teoría de Landau de transiciones críticas
- 3.2. Modelo general de Ising. Modelos uni- y bidimensionales
  - 3.2.1. Soluciones exactas para cadenas y redes 2D
- 3.3. Redes cristalinas de sistemas magnéticos
- 3.4. Aproximaciones de Braggs-Williams y de Bethe
- 3.5. Transiciones de orden-desorden
  - 3.5.1. En sistemas metálicos binarios
  - 3.5.2. En cristales líquidos: transición isotrópica-nemática
- 3.6. Modelo de campo promedio para un gas de Van der Waals
  - 3.6.1. Propiedades del punto crítico clásicas

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Callen H. B., *Thermodynamics*, Wiley, New York, 1985.
2. Plischke M. & Bergersen B., *Equilibrium Statistical Physics*, 3ra. Edición, World Scientific Publ. Co., Singapore, Singapore (2006).
3. Chaikin P.M. & Lubensky T. C., *Principles of Condensed Matter Physics*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK .2000.
4. Domb C., *The Critical Point*, Taylor & Francis, London, UK, 1996.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Carrington G., *Basic Thermodynamics*; Oxford University Press, Oxford (1994)
2. Pathria, R. K. *Statistical Mechanics* 2a. Edición, Butterworth-Heinemann, Oxford, (1996).
3. Hoffmann L. H. & Schreiber M., Eds., *Computational Statistical Physics*, Springer Verlag, Berlin, Ger., 2002.
4. Bowley R. and Sánchez M., *Introductory Statistical Mechanics*, Clarendon Press, Oxford, 1999.
5. Reed R. D. and Roy R. R., *Statistical Physics for Students of Science and Engineering* Dover, New York, 1995.



### **4.3.3. CAMPO DE CONOCIMIENTO DE MATERIALES ELECTRÓNICOS.**

- Dispositivos Electrónicos.....120
- Fundamentos de Magnetismo.....122
- Materiales Desordenados.....124
- Nanotecnología y nanomateriales.....126
- Óptica de Semiconductores.....128
- Propiedades electrónicas de materiales.....131
- Propiedades magnéticas de materiales.....134
- Semiconductores.....137
- Superconductividad.....140

# DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

8 CRÉDITOS

## OBJETIVOS

Dar al alumno un panorama general del desarrollo de la tecnología electrónica desde sus inicios, su estado actual y las tendencias a futuro. También se pretende que el alumno adquiera un entendimiento de la física y la tecnología de los dispositivos electrónicos; es decir, que comprenda la estrecha relación que hay entre las técnicas de preparación de materiales en volumen y en película delgada y las propiedades y el desempeño de estos materiales dentro de un dispositivo electrónico.

## TEMARIO

1. Introducción (4 horas)
  - 1.1. Reseña histórica de dispositivos de estado sólido
  - 1.2. Tipos y clasificación de dispositivos de estado sólido
  - 1.3. Tendencias de tecnologías modernas
2. Tecnología de crecimiento de cristales y preparación de sustratos (8 horas)
  - 2.1. Producción de silicio y de otros semiconductores grado electrónico
  - 2.2. Método Czochralsky. Control de estructura, pureza y defectos
  - 2.3. Método de Bridgman
  - 2.4. Otros métodos de crecimiento de cristales
  - 2.5. Corte, pulido y limpieza de obleas y otros sustratos
3. Tecnología de preparación películas delgadas semiconductoras y aislantes (20 horas)
  - 3.1. Importancia de las películas delgadas
  - 3.2. Teoría sobre el proceso de crecimiento de películas delgadas
  - 3.3. Procesos de epitaxia. Epitaxia en fase líquida (LPE) y epitaxia en fase vapor (VPE)
  - 3.4. Técnicas PVD. Epitaxia de haz molecular (MBE) y de haz de iones (IBE), evaporación térmica y con haz de electrones, erosión catódica, ablación láser
  - 3.5. Técnicas CVD. CVD térmico, CVD asistido por plasma directo (PECVD) y remoto (RPECVD)
  - 3.6. Técnicas de rocío pirolítico
  - 3.7. Otras técnicas
  - 3.8. Preparación de aislantes en película delgada, dióxido de silicio, nitruro de silicio
4. Metalización (12 horas)
  - 4.1 Preparación de contactos metálicos por evaporación térmica, con haz de electrones y con haz de iones, erosión catódica, ablación láser
  - 4.2. Mascarillas y fotolitografía
  - 4.3. Contactos conductores transparentes
5. Preparación y funcionamiento de dispositivos optoelectrónicos (20 horas)
  - 5.1. Sensores térmicos y fotodetectores

- 5.2. Puntas Hall para medir campos magnéticos
- 5.3. Diodos rectificadores y diodos emisores de luz. Láseres de estado sólido
- 5.4. Transistores bipolares y de efecto campo
- 5.5. Celdas solares
- 5.6. Estructuras electroluminiscentes
- 5.7. Intercambiadores de calor
- 5.8. Guías de ondas
- 5.9. Circuitos integrados. Tecnologías VLSI y LTLSI
- 5.10. Nuevos materiales y aplicaciones. Silicio poroso, pozos cuánticos, puntos cuánticos, nanoestructuras

## BIBLIOGRAFÍA

1. Sze S.M., *VLSI technology*, McGraw- Hill, 1988.
2. Chopra and Kaur1, *Thin Film Device Applications*, Plenum Press, N.Y., 1983.
3. Sze S.M., *Semiconductor Devices Physics and Technology*, John Wiley & Sons, 1985.
4. Sze S.M., *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd. Edition, John Wiley & Sons, 1981.
5. Colclaser R. A. and Diehl-Nagle S., *Materials and Devices for Electrical Engineers and Physicists*, McGraw-Hill Book Co., N.Y., 1985.
6. Baklanov M., Maex K., and Green M. *Dielectric Films for Advanced Microelectronics*, Wiley Series in Materials for Electronic & Optoelectronic Applications, 2007.
7. Green M. A., *Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion*, Springer Series in Photonics, 2003.

## FUNDAMENTOS DE MAGNETISMO

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

La idea fundamental del curso es introducir al estudiante en los aspectos teóricos y experimentales del magnetismo, enfatizando en ideas y conceptos modernos, de tal forma que pueda proveer el material y conocimientos suficientes para servir como puente hacia el estudio experimental o teórico en investigación científica en cualquier aspecto de los estudios modernos del magnetismo.

### TEMARIO

1. Introducción. (2 horas)
2. Fenomenología de diversos procesos magnéticos (4 horas)
3. Variedades de orden magnético en materiales (4 horas)
  - 3.1. Requerimientos físicos para la existencia de orden magnético
4. Caracterización por medio de susceptibilidad y magnetización de tres procesos básicos: Paramagnetismo, Ferromagnetismo y Diamagnetismo (6 horas)
  - 4.1. Modelo semicuántico: Langevin
  - 4.2. Modelo cuántico: Brillouin
  - 4.3. Extracción de los dos modelos de la ley de Curie y condiciones de validez
  - 4.4. Proceso energético y rompimiento de la regeneración por medio de campos magnéticos. Efecto Zeeman
5. Descripción clásica y cuántica de los procesos magnéticos (4 horas)
  - 5.1. Diamagnetismo, momento dipolar, reglas de Hund, y función de Brillouin.
6. Campo molecular descripción de procesos ferromagnéticos y antiferromagnéticos. (4 horas)
  - 6.1. Acoplamiento de Intercambio: interacciones directas e indirectas.
  - 6.2. Superintercambio.
7. Magnetismo de electrones itinerantes (4 horas)
8. Superintercambio del tipo Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida (4 horas)
9. Taxonomía del comportamiento magnético (4 horas)
10. Técnicas experimentales y unidades en magnetismo (4 horas)

11. Procesos simples de comportamiento magnético: Paramagnetismo ideal, Diamagnetismo, ferromagnetismo, antiferromagnetismo y ferrimagnetismo (6 horas)
  - 11.1. Diversas contribuciones a la susceptibilidad magnética: medidas experimentales.
12. Procesos más complicados (6 horas)
  - 12.1. Metamagnetismo
  - 12.2. Metamagnetismo itinerante electrónico
  - 12.3. Ferromagnetismo incipiente, comportamiento ideal de vidrios de espín
  - 12.4. Mictomagnetismo
  - 12.5. Sperimagnetismo
13. Magnetismo molecular (4 horas)
14. Magnetismo, enlaces y ligaduras en procesos químicos (4 horas)
15. Nanomagnetismo (4 horas)

#### BIBLIOGRAFIA

1. Jiles D. *Introduction to magnetism and magnetic materials*. 2<sup>nd</sup> Ed. New York, Chapman & Hall, 1997.
2. Kittel, Charles. *Introduction to solid state physics*. Hoboken, NJ, Wiley, c2005.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Hein R. A, T.L. Francavilla, and D. Liebenberg. Ed. *Magnetic susceptibility of superconductors and other spin systems*. New York, Plenum Press, c1991.
2. Buschow . K. H. J. and F.R. De Boer. *Physics of magnetism and magnetic materials*. NewYork: Kluwer Academic/Plenum Publishers, C2003.
3. Chikazumi S. *Physics of ferromagnetism*. 2<sup>nd</sup>. ed. Oxford: Clarendon Press; New York: Oxford University Press, ( The international series of monographs on physics; 94)1997.
4. Carlin R and A.J. van Duynveldt. *Magnetic properties of transition metal compound*. New York: Springer-Verlag, ( Inorganic chemistry concepts; V.2.),c1977.
5. Mydosh L. A. *Spin Glasses: an experimental introduction*. London; Washington, DC: Taylor & Francis, 1993
6. Fischer K.H., J. A. Hertz. *Spin Glasses*. Cambridge; New York, NY, USA: Cambridge University Press, ( Cambridge studies in magnetism:1),1991.
7. Yosida K. *Theory of magnetism*. Berlin; New York: Springer, (Springer series in solid-state sciences, 0171-1873; 122), 1998.
8. Mattis.D. C. *The theory of Magnetism I and II* . Berlin; New York: Springer-Verlag, (Springer series in solid-state sciences; 17, 55), 1981-c1985.

## MATERIALES DESORDENADOS

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Al final del curso los alumnos conocerán diferentes aspectos de los materiales desordenados, tanto de su arreglo atómico, su preparación y caracterización como de sus propiedades.

### TEMARIO

1. Sistemas no cristalinos (6 horas)
  - 1.1. Desorden estructural
  - 1.2. Desorden sustitucional
  - 1.3. Desorden magnético
  - 1.4. Orden de corto y largo alcance
  - 1.5. Orden cuasicristalino
  - 1.6. Sistemas porosos
  - 1.7. Nanoestructuras
  
2. Preparación y caracterización de materiales amorfos (8 horas)
  - 2.1. Método de enfriamiento rápido
  - 2.2. Método de espurreo y vaporización
  - 2.3. Difracción de rayos-X, **de neutrones** y de electrones
  - 2.4. Estructura fina de la absorción de rayos-X extendida (EXAFS)
  - 2.5. Espectroscopía de infrarrojo y Raman
  
3. Técnicas y modelos (14 horas)
  - 3.1. Función de distribución radial
  - 3.2. Modelo de empacamiento aleatorio denso de esferas duras
  - 3.3. Método de amarre fuerte
  - 3.4. Redes de Bethe
  - 3.5. Aproximación de cristal virtual (VCA)
  - 3.6. Aproximación de potencial coherente (CPA)
  - 3.7. Procesos computacionales: el proceso “melt and quench” y el proceso “undermelt-quench”
  
4. Excitaciones en redes desordenadas (14 horas)
  - 4.1. Localización de Anderson
  - 4.2. Bordos de movilidad
  - 4.3. Pseudobrechas de energía
  - 4.4. Conducción por saltos
  - 4.5. Transición de Mott
  - 4.6. Fonones
  
5. Materiales amorfos (14 horas)
  - 5.1. Metales amorfos

- 5.2. Semiconductores amorfos
- 5.3. Estructuras magnéticas desordenadas
- 5.4. Superconductores amorfos
  
- 6. Aplicaciones (8 horas)
  - 6.1. Celdas solares
  - 6.2. Vidrios metálicos

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Waseda Y., *The Structure of Non-Crystalline Materials, Liquids and Amorphous Solids*, McGraw-Hill, 1980.
2. Ziman J.M., *Models of disorder*, Cambridge University Press, 1979.
3. Mott N.F. and Davis E.A., *Electronic Processes in Non-Crystalline Materials*, Oxford University Press, 2nd. Edition, 1979.
4. Mott N.F., *Conduction in Non-Crystalline Materials*, Oxford University Press, 1987.

## NANOTECNOLOGÍA Y NANOMATERIALES

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

En este curso se presentan los conceptos fundamentales de la física y las propiedades de los materiales cuando alguna de sus dimensiones características es menor a los 100 nm. Se introducen los diferentes fenómenos cuánticos que se presentan en los dispositivos electrónicos nanométricos. Se describe el impacto que tienen las dimensiones de los nanomateriales en propiedades, tales como el magnetismo, las propiedades ópticas, mecánicas, químicas y biológicas y su impacto en las tecnologías del futuro. Se presentan los principios básicos de preparación de diversos nanomateriales, dando ejemplos de algunos nanomateriales y sus aplicaciones.

### TEMARIO

2. Introducción a la nanotecnología (4 horas)
  - 1.1. ¿Qué es nanotecnología?
  - 1.2. Nanotecnología, ¿por qué ahora?
  - 1.3. Nanomateriales y nanotecnología
  - 1.4. Nano versus miniaturización
  - 1.5. Longitudes características.
  
2. Conceptos básicos de la mecánica cuántica (4 horas)
  - 2.1. Onda
  - 2.2. Cuantización de la energía
  - 2.3. Función de onda para el átomo de hidrógeno
  - 2.4. Fenómenos cuánticos
  
3. Nanoestructuras cuánticas semiconductoras (8 horas)
  - 3.1. La física de semiconductores de baja dimensionalidad
  - 3.2. Nanoestructuras cuánticas semiconductoras y superredes.
  
4. Transporte electrónico y propiedades ópticas de nanoestructuras (8 horas)
  - 4.1. Transporte en campos eléctricos en nanoestructuras
  - 4.2. Transporte en campos magnéticos en nanoestructuras
  - 4.3. Procesos optoelectrónicos en heteroestructuras cuánticas.
  
5. Fenómenos a escala nanométrica (20 horas)
  - 5.1. Magnetismo a escala nanométrica
  - 5.2. Nanomecánica y nanotribología
  - 5.3. Transporte térmico a la nanoescala y nanofluidos
  - 5.4. Química a escala nanométrica
  - 5.5. Biología y ciencias médicas a escala nanométrica
  
6. Nanomateriales (12 horas)

- 6.1. Nanoestructuras metálicas
- 6.2. Nanoestructuras poliméricas
- 6.3. Nanocompositos
- 6.4. Nanoestructuras cerámicas

- 7. Nanoestructuras (8 horas)
  - 7.1. Quantum dots y superredes cuánticas
  - 7.2. Cristales fotónicos
  - 7.3. Nanoestructuras basadas en carbono
  - 7.4. Nanocintas y nanoalambres
  - 7.5. Nanoestructuras autoensambladas

Método de Enseñanza: Un coordinador de grupo y profesores invitados.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Mat3nez-Duart J.M., Mart3n-Palma R.J., and Agullo-Rueda F., *Nanotechnology for Microelectronics and Optoelectronics*, Elsevier, U.K., 2006.
2. Morris D.G., *Mechanical Behaviour of Nanostructure Materials*, Trans. Tech. Publications, Suiza, 1998.
3. Hari Singh Nalwa (Editor), *Magnetic Nanostructures*. American Scientific Publishers, 2002.
4. Wolf E.L., *Nanophysics and Nanotechnology: An introduction to modern concepts in Nanoscience*, Wiley-VCH Verlag, 2004.

## ÓPTICA DE SEMICONDUCTORES

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

El objetivo del curso es explicar a los alumnos las propiedades ópticas de los semiconductores ejemplos: los espectros de reflexión, transmisión y luminescencia, o de la función dieléctrica compleja en el infrarrojo, visible y ultravioleta. Así como las técnicas experimentales espectrales usadas en la caracterización óptica de los semiconductores.

### TEMARIO

1. Introducción (2 horas)
  - 1.1. Objetivos y conceptos
  - 1.2. Nociones generales
  
2. Ecuaciones de Maxwell y los fotones (6 horas)
  - 2.1. Ecuaciones de Maxwell
  - 2.2. Radiación electromagnética en el vacío
  - 2.3. Radiación electromagnética en la materia
  - 2.4. Óptica lineal
  - 2.5. Ondas longitudinales y transversales
  - 2.6. Fotones y algunos aspectos de la mecánica cuántica
  - 2.7. Función dieléctrica
  - 2.8. Teoría microscópica de la función dieléctrica
  - 2.9. Problemas
  
3. Interacción de la luz con la materia (18 horas)
  - 3.1. Aspectos macroscópicos de los sólidos
  - 3.2. Condiciones a la frontera
  - 3.3. Leyes de la reflexión y refracción
  - 3.4. Reflexión y transmisión en una interfase
  - 3.5. Extinción y absorción de luz
  - 3.6. Absorción estimulada y emisión espontánea
  - 3.7. Procesos de absorción óptica
    - 3.7.1. Portadores libres
    - 3.7.2. Absorción por la red
    - 3.7.3. Absorción intrínseca
    - 3.7.4. Por excitones
    - 3.7.5. Absorción extrínseca
  - 3.8. Transiciones interbanda
    - 3.8.1. Transiciones directas permitidas
    - 3.8.2. Transiciones directas prohibidas
    - 3.8.3. Transiciones indirectas
  - 3.9. Problemas

- 4. Conjunto de osciladores desacoplados (5 horas)
  - 4.1. Ecuaciones de movimiento y la función dieléctrica
  - 4.2. Correcciones por mecánica cuántica
  - 4.3. Espectro de la función dieléctrica
  - 4.4. Espectros de reflexión y transmisión
  - 4.5. Problemas
  
- 5. El concepto de polariton (4 horas)
  - 5.1. Polariton una nueva cuasi partícula
  - 5.2. La relación de dispersión de polaritones
  - 5.3. Problemas
  
- 6. Relaciones de dispersión (4 horas)
  - 6.1. Relaciones de Kramer-Croning
  - 6.2. Relaciones entre constantes ópticas
  - 6.3. Problemas
  
- 7. Vibraciones de la red y fonones (5 horas)
  - 7.1. Aproximación adiabática
  - 7.2. Redes en el espacio real y en el recíproco
  - 7.3. Cuantización en vibraciones de la red
  - 7.4. Problemas
  
- 8. Electrones en una red cristalina periódica (6 horas)
  - 8.1. Teorema de Bloch
  - 8.2. Metales, aisladores y semiconductores
  - 8.3. Electrones y huecos en un cristal
  
- 9. Excitones (5 horas)
  - 9.1. Excitones de Wannier y Frenkel
  - 9.2. Correcciones al modelo del exciton simple
  - 9.3. Influencia de la dimensionalidad
  - 9.4. El fonon-polariton como un ejemplo
  - 9.5. Espectro de reflexión, dispersión Raman y de Brillouin
  - 9.6. Problemas
  
- 10. Propiedades ópticas de excitones intrínsecas (5 horas)
  - 10.1. Acoplamiento exciton-foton
  - 10.2. Espectros de reflexión, transmisión y luminiscencia
  - 10.3. Exciton ligado y multiexcitones
  - 10.4. Pares donador-aceptor y transiciones relacionadas
  - 10.5. Problemas
  
- 11. Espectroscopías ópticas (4 horas)
  - 11.1. Ultravioleta-visible
  - 11.2. Infrarrojo

- 11.3. Raman
- 11.4. Fotoluminiscencia
- 11.5. Ejercicio teórico-experimental final

## BIBLIOGRAFÍA

1. Wooten F., *Optical Properties of Solids*, Academic Press, N.Y., 1972.
2. Klingshirn K.F., *Semiconductor Optics*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1995.
3. Pankove J.I., *Optical Processes In Semiconductors*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1971.
4. Yu P.Y. and Cardona M., *Fundamentals Of Semiconductors*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1996.
5. Bube R.H., *Electronic Properties of Crystalline Solids (An Introduction to Fundamentals)*, Academic Press, N.Y., 1974.
6. Chuang S.L., *Physics of Optoelectronic Devices*, Wiley Series in Pure and Applied Optics, 1995.
7. Ropp R.C., *Luminescence and the Solid State, Studies in Inorganic Chemistry*, Elsevier Science Pub., Amsterdam, 1991.
8. Claus Klingshirn, *Semiconductor Optics, Springer Study edition, N Y 1997*
9. S. Nudelman and S.S. Mitra eds. , *NATO ASI series, Plenum Press New York 19699*
10. W. Schafer and M. Wegener, *Semiconductor optics and transport Phenomena*, Springer, Berlin, 2002.
11. Y. Toyosawa, *Optical processes in solids*, Cambridge, Universiti Press, Cambrige, 2003
12. H. Kalt and M. Hetterich, *Series in Solid State Sciences*, 146, 2004

## PROPIEDADES ELECTRÓNICAS DE MATERIALES

8 CRÉDITOS

### OBJETIVOS

El objetivo del curso es proveer un entendimiento general sobre las propiedades electrónicas, ópticas, magnéticas y térmicas de los materiales basados en los conceptos centrales de la física de estado sólido y la descripción cuántica de la estructura electrónica de los materiales. La motivación principal del curso es mostrar que la estructura electrónica de los materiales determina las propiedades ópticas, electrónicas y magnéticas de los materiales. El curso inicia con una revisión de los conceptos de la mecánica cuántica y la descripción de los electrones en diferentes sistemas. A continuación se presenta la descripción de las propiedades electrónicas y ópticas de los semiconductores, incluyendo el cambio en sus propiedades al ser de baja dimensionalidad. De aquí se pasa al estudio de las propiedades magnéticas de materiales y una descripción del fenómeno de la superconductividad. Finalmente, se incluye un capítulo sobre la dinámica de los átomos en cristales, cuyo objetivo es describir las propiedades que son controladas por el movimiento de los átomos alrededor de sus posiciones de equilibrio.

### TEMARIO

1. Introducción (6 horas)
  - 1.1. Conceptos básicos de mecánica cuántica
  - 1.2. Enlace en estado sólido
  
2. Estructura de bandas de los sólidos (8 horas)
  - 2.1. Introducción
  - 2.2. Teorema de Bloch y estructura de bandas de un sólido periódico
  - 2.3. El modelo de Kronig-Penney
  - 2.4. El método de enlace fuerte
  - 2.5. El método de electrón cuasi-libre
  - 2.6. Estructura de bandas de semiconductores tetrahedrales
  - 2.7. El uso de pseudo-potenciales
  
3. Estructura y defectos en semiconductores en bulto (8 horas)
  - 3.1. Introducción
  - 3.2. Teoría k-p de semiconductores
  - 3.3. Masa efectiva de electrones y agujeros
  - 3.4. Tendencias en los semiconductores
  - 3.5. Impurezas en semiconductores
  - 3.6. Semiconductores amorfos
  
4. Física y aplicaciones de estructuras semiconductoras de baja dimensionalidad (4 horas)
  - 4.1. Introducción
  - 4.2. Estados confinados en pozos de potencial, alambres y puntos cuánticos

- 4.3. Densidad de estados en pozos de potencial, alambres y puntos cuánticos
- 4.4. Dopaje modulado y hetero-uniones
- 4.5. Efecto Hall cuántico
  
- 5. Propiedades ópticas\* (8 horas)
  - 5.1. Reflexión
  - 5.2. Resumen de procesos de absorción
  - 5.3. Transiciones a través de la brecha energética
  - 5.4. Excitones
  - 5.5. Imperfecciones
  - 5.6. Portadores libres
  - 5.7. Absorción de resonancia del plasma
  - 5.8. Polarización de electrones ligados
  - 5.9. Efectos fotoeléctricos
  - 5.10. Espectro óptico
  - 5.11. Aplicaciones fotoeléctricas
  
- 6. Diamagnetismo y paramagnetismo (8 horas)
  - 6.1. Introducción
  - 6.2. Magnetización
  - 6.3. Momento magnético del electrón
  - 6.4. Diamagnetismo en átomos y sólidos
  - 6.5. Teoría de Langevin (clásica) del paramagnetismo
  - 6.6. Momentos magnéticos en átomos e iones aislados: reglas de Hund
  - 6.7. Teoría de Brillouin (mecánica cuántica) del paramagnetismo
  - 6.8. Paramagnetismo en metales
  
- 7. Ferromagnetismo y orden magnético (8 horas)
  - 7.1. Introducción
  - 7.2. La interacción de intercambio
  - 7.3. Ferromagnetismo y la temperatura de Curie
  - 7.4. Magnetización espontánea
  - 7.5. Magnetización espontánea y la susceptibilidad de un antiferromagneto
  - 7.6. Ferromagnetismo
  - 7.7. Ondas de spin- excitaciones magnéticas elementales
  - 7.8. Dominios ferromagnéticos
  - 7.9. Imanes permanentes de alta calidad
  - 7.10. Ferromagnetismo itinerante
  - 7.11. Magnetoresistencia gigante
  
- 8. Superconductividad (8 horas)
  - 8.1. Introducción
  - 8.2. Ocurrencia de la superconductividad
  - 8.3. Comportamiento magnético y efecto Meissner
  - 8.4. Superconductores tipo I y II
  - 8.5. Momento electromagnético y las ecuaciones de London
  - 8.6. El efecto Meissner

- 8.7. Aplicaciones de la termodinámica
  - 8.8. Pares de Cooper y la teoría BCS
  - 8.9. Longitud de coherencia en la teoría BCS
  - 8.10. Corrientes persistentes y función de onda de la superconductividad
  - 8.11. Cuantización del flujo
  - 8.12. Tunelaje Josephson
  - 8.13. Efecto Josephson AC
  - 8.14. Superconductividad a alta temperatura
9. Dinámica de los átomos en un cristal\*\* (6 horas)
- 9.1. Fonones
  - 9.2. Dispersión
  - 9.3. Propiedades térmicas:
    - 9.3.1. Calor específico
    - 9.3.2. Expansión térmica
    - 9.3.3. Conductividad térmica

## BIBLIOGRAFÍA

Textos:

1. O'Reilly E., *Quantum Theory of Solids*, Taylor & Francis, Great Britain, 2002.
2. Bube R., *Electrons in Solids\**, Academic Press Inc, USA, 1992.
3. Ibach H., Luth H., *Solid State Physics; an Introduction to Principles of Materials Science\*\**, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1995.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Hummel R.E., *Electronic Properties of Materials*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1993.
2. Kittel C., *Introduction to Solid State Physics*, John Wiley & Sons 8e, USA 2004.
3. Kittel C., *Quantum Theory of Solid*, John Wiley & Sons 2nd, USA 1987.
4. Richard M Martin, *Electronic Structure: Basic Theory and Practical Methods*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

## PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE MATERIALES

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Proporcionar un panorama detallado sobre las propiedades magnéticas de los materiales, desde sus aspectos fundamentales, las técnicas experimentales más usadas en los laboratorios de investigación y los diversos tipos de materiales magnéticos, su fenomenología asociada y sus aplicaciones.

### TEMARIO

1. Introducción (5 horas)
  - 1.1. Perspectiva histórica.
  - 1.2. Conceptos básicos y magnetostática.
  - 1.3. Corriente eléctrica y campo magnético. Ley de Ampere. Ley de Biot-Savart. Momento magnético, inducción magnética, flujo magnético, magnetización, permeabilidad y susceptibilidad magnética.
  - 1.4. Clasificación de materiales por susceptibilidad magnética. El campo de desmagnetización, factores de desmagnetización, energía magnetostática.
  - 1.5. Unidades magnéticas: sistemas cgs, SI.
2. Origen atómico del momento magnético (6 horas)
  - 2.1. Átomo de hidrógeno y números cuánticos.
  - 2.2. Efecto Zeeman, espín electrónico, principio de exclusión de Pauli, acoplamiento Russell-Saunders, reglas de Hund.
  - 2.3. Modelo vectorial del átomo.
3. Diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo (12 horas)
  - 3.1. Efecto diamagnético, susceptibilidad diamagnética, superconductores y efecto Meissner.
  - 3.2. Teoría de Langevin del paramagnetismo, ley de Curie, paramagnetismo de Pauli.
  - 3.3. Teoría del campo molecular del ferromagnetismo, Ley de Curie-Weiss, magnetización espontánea, curva de Slater-Pauling, magnetismo de electrones itinerantes. Antiferromagnetismo, ferrimagnetismo.
4. La interacción de intercambio (8 horas)
  - 4.1. Intercambio directo. El hamiltoniano de Heisenberg, curva de Bethe-Slater.
  - 4.2. Intercambio indirecto. Doble intercambio, superintercambio, interacción RKKY.
  - 4.3. El modelo de Ising
  - 4.4. Ondas de espín
5. Anisotropía magnética (8 horas)
  - 5.1. Anisotropía magnetocristalina. El campo cristalino. Energía de anisotropía: simetría cúbica y uniaxial. Magnetostricción.
  - 5.2. Modelo de un solo ión: anisotropía de átomos 3d y 4f.
  - 5.3. Anisotropía de forma.

- 5.4. Anisotropía inducida
6. Dominios magnéticos y pared de dominio (3 horas)
- 6.1. Formación de dominios magnéticos.
  - 6.2. Pared de dominio magnético: estructuras, energía, ancho.
  - 6.3. Técnicas de observación de dominios magnéticos.
7. Mecanismos de magnetización (4 horas)
- 7.1. Partículas monodominio. Teoría de Stoner-Wohlfarth.
  - 7.2. Movilidad de pared de dominio. Deformación reversible, desplazamiento irreversible, anclaje de pared. Rotación de espín.
  - 7.3. Histéresis
8. Técnicas experimentales (8 horas)
- 8.1. Magnetometría de muestra vibrante
  - 8.2. Magnetómetro SQUID
  - 8.3. Espectroscopía de inductancias
  - 8.4. Métodos inductivos
  - 8.5. Temperatura de Curie: curvas de magnetización-temperatura, DSC, TGA.
9. Materiales magnéticos (10 horas)
- 9.1. Clasificación de materiales magnéticos basados en el campo coercitivo
  - 9.2. Materiales magnéticos suaves. Aleaciones cristalinas (preparación, composición, propiedades). Aleaciones amorfas (preparación, composición, propiedades). Ferritas (preparación, composición, propiedades). Aplicaciones.
  - 9.3. Materiales magnéticos duros. Aleaciones cristalinas (preparación, composición, propiedades). Ferritas (preparación, composición, propiedades). Superimanes (preparación, composición, propiedades). Aplicaciones.
  - 9.4. Materiales para grabación magnética. Películas delgadas y multicapas (preparación, composición, propiedades). Magnetoresistencia y válvulas de espín.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. O'Handley R.C., *Modern Magnetic Materials*, John Wiley & Sons, New York, 2000.
2. Buschow K.H.J., De Boer F.R., *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2003.
3. Valenzuela R., *Magnetic Ceramics*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Chikazumi S., *Physics of ferromagnetism*, Oxford: Clarendon Press, New York, 1997.
2. Cullity B.D., *Introduction to magnetic materials*, Addison-Wesley, Massachusetts, 1972.

3. Betancourt I., Editor, *Magnetic materials: Current topics in amorphous wires, hard magnetic alloys, ceramics, characterization and modeling*, Research SignPost, Kerala, 2007.

## SEMICONDUCTORES

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Proporcionar al alumno los fundamentos teóricos que le permitan comprender el origen de las propiedades electrónicas y ópticas de los materiales semiconductores, así como sus aplicaciones y algunas de las principales técnicas para su fabricación.

### TEMARIO

1. Introducción (4 horas)
  - 1.1. Características básicas y definición de un semiconductor
  - 1.2. Importancia práctica y científica de los semiconductores
  - 1.3. Tipos, aplicaciones y usos de los semiconductores
  
2. Estructura, composición y preparación de semiconductores (4 horas)
  - 2.1. Enlaces en los semiconductores. Clasificación de los semiconductores según su estructura
  - 2.2. Métodos de preparación de semiconductores en forma volumétrica
  - 2.3. Técnicas de fabricación de materiales semiconductores en película delgada
  
3. Teoría de bandas de semiconductores cristalinos (16 horas)
  - 3.1. Resumen de la descripción de materiales cristalinos: red cristalina y red recíproca, periodicidad y simetrías, celda unitaria en el espacio real y primera zona de Brillouin
  - 3.2. Niveles de energía para las componentes de un cristal. Análisis intuitivo
  - 3.3. Ecuación de Schroedinger para un cristal
  - 3.4. Aproximaciones de: electrones de valencia, de iones, adiabática o de Born-Oppenheimer
  - 3.5. Funciones de Bloch y funciones de Wannier
  - 3.6. Aproximación del campo efectivo o del electrón independiente. Hamiltoniano de un solo electrón
  - 3.7. Condiciones a la frontera o Born-von Karman
  - 3.8. Estructura de bandas de energía en conductores, aislantes y semiconductores
  - 3.9. Estructura electrónica de semiconductores intrínsecos. Transiciones electrónicas, bandas directas y bandas indirectas
  - 3.10. Aproximación de la masa efectiva. Concepto de hueco y bandas parabólicas
  - 3.11. Densidad de estados en la banda de conducción y de valencia de un semiconductor intrínseco
  - 3.12. Distribución electrónica y concentración de electrones en la banda de conducción y de huecos en la banda de valencia
  - 3.13. Neutralidad y ley de acción de masas
  - 3.14. Energía de Fermi en un semiconductor intrínseco

4. Niveles de energía en semiconductores extrínsecos (10 horas)
  - 4.1. Impurezas y otros defectos en semiconductores cristalinos
  - 4.2. Impurezas hidrogénicas o poco profundas
  - 4.3. Niveles de energía de impurezas hidrogénicas donadoras. Semiconductor tipo-n
  - 4.4. Niveles de energía de impurezas hidrogénicasceptoras. Semiconductor tipo-p
  - 4.5. Neutralidad, concentración de portadores de carga y nivel de Fermi en semiconductores extrínsecos tipo-n y tipo-p
  
5. Propiedades eléctricas y ópticas de semiconductores cristalinos (16 horas)
  - 5.1. Transporte de portadores de carga en un semiconductor fuera de equilibrio
  - 5.2. Arrastre y Difusión. Relaciones de Einstein
  - 5.3. Movilidad de portadores de carga
  - 5.4. Conductividad eléctrica en un semiconductor intrínseco y su comportamiento con la temperatura
  - 5.5. Efectos de la impurificación en la conductividad eléctrica de un semiconductor
  - 5.6. Tipo de conductividad y Efecto Hall
  - 5.7. Procesos de generación y recombinación de portadores de carga
  - 5.8. Fenómeno de fotoconductividad
  - 5.9. Efectos termoeléctricos
  - 5.10. Procesos de absorción y emisión radiativa en semiconductores. Absorción y emisión de luz
  - 5.11. Propiedades eléctricas y ópticas de semiconductores policristalinos y amorfos
  - 5.12. Fenómenos de transporte, generación y recombinación de portadores de carga en semiconductores
  
6. Aplicaciones electrónicas y optoelectrónicas de los semiconductores (14 horas)
  - 6.1. Sensores térmicos y fotodetectores
  - 6.2. Puntas Hall para medir campos magnéticos
  - 6.3. Diodos rectificadores y diodos emisores de luz. Láseres de estado sólido
  - 6.4. Transistores bipolares y de efecto campo
  - 6.5. Celdas solares
  - 6.6. Estructuras electroluminiscentes
  - 6.7. Intercambiadores de calor
  - 6.8. Circuitos integrados
  - 6.9. Otras aplicaciones

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Cardona M. and Yu P.Y., *Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties*, Springer, Berlin Heidelberg, 1996.
2. Mckelvey J.P., *Física del Estado Sólido y de los Semiconductores*, Limusa, México, 1980.
3. Neamen Donald A. *Semiconductors Physics and Devices, Basic Principles* Irwin Inc, 1992

4. Ashcroft N.W. and Mermin N.D. *Solid State Physics*, Holt-Saunders International Edit., Londres, 1976.
5. Sze S.M., *Semiconductor Devices Physics and Technology*, John Wiley & Sons, 1985.
6. Sze S.M., *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd. edition, John Wiley & Sons, 1981.
7. Roy A. Colclaser and Sherra Diehl-Nagle, *Materials and Devices for Electrical Engineers and Physicists*, McGraw-Hill Book Company, 1985.
8. Pankove J.I *Optical Processes in semiconductors* Dover Publications, Inc N.Y. 1971
9. Kittel C., *Introduction to Solid State Physics*, 7th Edition, John Wiley and Sons, N.Y., 1996.

## SUPERCONDUCTIVIDAD

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

El objetivo general del curso es adquirir conocimientos básicos del fenómeno de la superconductividad, en aspectos tanto teóricos como experimentales. El curso comienza con los aspectos básicos del fenómeno de la superconductividad, los modelos fenomenológicos y microscópicos de la superconductividad, los diferentes tipos de materiales superconductores, incluyendo los superconductores de alta temperatura crítica y se termina con las aplicaciones que se han dado a los materiales superconductores.

### TEMARIO

1. El fenómeno de la Superconductividad (8 horas)
  - 1.1. Resumen histórico.
  - 1.2. Resistencia cero. Temperatura de transición superconductora,  $T_c$
  - 1.3. Diamagnetismo perfecto. Campos dentro de un superconductor. Corrientes de apantallamiento
  - 1.4. Campo crítico y corriente crítica.
  
2. Propiedades termodinámicas (8 horas)
  - 2.1. Calor específico de un superconductor
  - 2.2. Termodinámica de un superconductor. Brecha superconductora.
  - 2.3. Superconductor en un campo magnético
  - 2.4. Calor específico en un campo magnético
  
3. Teoría de London (8 horas)
  - 3.1. Ecuaciones de London. Profundidad de penetración
  - 3.2. Cuantización del flujo magnético
  
4. Teoría de Ginzburg-Landau (12 horas)
  - 4.1. Parámetro de orden y las ecuaciones de Ginzburg-Landau
  - 4.2. Ecuaciones de Ginzburg-Landau normalizadas
  - 4.3. Superconductores Tipo I y Tipo II
  - 4.4. Campo crítico inferior y campo crítico superior
  
5. Teoría BCS (12 horas)
  - 5.1. Problema de Cooper
  - 5.2. Modelo de BCS
  - 5.3. Resultados de la teoría BCS
  - 5.4. Tunelaje electrónico
  - 5.5. Efecto Josephson
  - 5.6. Comparación con resultados experimentales
  
6. Diversos tipos de materiales superconductores (8 horas)
  - 6.1. Elementos, compuestos y aleaciones

- 6.2. Aleaciones del tipo A15
  - 6.3. Fases de Chevrel
  - 6.4. Óxidos superconductores (antes de Cu-O)
  - 6.5. Fermiones pesados
  - 6.6. Superconductores orgánicos
  - 6.7. Fullerenos
7. Superconductores de alta temperatura crítica (4 horas)
- 7.1. El sistema de Bednorz y Müller :  $\text{La}_2\text{CuO}_4$
  - 7.2. Superconductores del tipo  $\text{R}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$
  - 7.3. Superconductores con base en bismuto y talio
  - 7.4. Compuestos con mercurio
  - 7.5. Diagrama de fases de sistemas superconductores de alta  $T_c$  (tipo n y p)
  - 7.6. Comportamiento magnético de los cupratos
  - 7.7. Características anómalas de los cupratos y sus diferencias con respecto a metales normales
  - 7.8. Modelos teóricos intentando explicar la superconductividad en los superconductores de alta temperatura crítica
8. Aplicaciones (4 horas)

## BIBLIOGRAFÍA

1. Poole Jr. C.P., Farach H.A. and Creswich R.J., *Superconductivity*, Academic Press Inc., San Diego CA, 1995.
2. Tinkham M., *Introduction to Superconductivity*, 2nd. Ed. McGraw-Hill, N.Y., 1995.
3. Rose-Innes A.C. and Rhoderick E.H., *Introduction to Superconductivity*, Pergamon Press, Oxford, 1969.
4. de Gennes P.G., *Superconductivity of Metals and Alloys*, W.A. Benjamin, N.Y., 1989.
5. Burns G., *High Temperature Superconductivity an Introduction*. Academic Press 1992
6. Lynn J.W., *High Temperature Superconductivity*, Springer Verlag, N.Y., 1990.
7. Navarro Chávez O., Baquero Parra R., *Ideas Fundamentales de la Superconductividad*. Universidad Nacional Autónoma de México, 2007.
8. Schrieffer J. R., *Theory of Superconductivity*, Addison-Wesley, Co., 1988.
9. Tilley D.R. and Tilley J. *Superfluidity and Superconductivity*, 3rd. Ed., Adam Hilger, 1990.
10. Fujita S. and Godoy S., *Quantum Statistical Theory of Superconductivity*, Plenum, N.Y., 1996.
11. Taylor P.L., *A Quantum Approach to the Solid State*, Prentice-Hall Inc., N.Y., 1970.
12. Ibach H. and Lüth H., *Solid State Physics (An Introduction to the Theory and Experiment)*, Springer-Verlag, Berlin, 1990.
13. Parks R.D. Editor, *Superconductivity Vol. I and Vol. II*, Marcel Dekker, Inc. 1969.



#### **4.3.4. CAMPO DE CONOCIMIENTO DE MATERIALES METÁLICOS.**

- Fundamentos de la metalurgia física.....144
- Fundamentos de la solidificación.....146
- Materiales compuestos.....148
- Procesos cinéticos en metalurgia física.....150
- Solidificación.....152
- Superplasticidad.....154

## FUNDAMENTOS DE LA METALURGIA FÍSICA

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Al finalizar el curso el alumno será capaz de entender, desde un punto de vista físico y químico, de los procesos que ocurren a nivel microscópico durante la elaboración y conformado de los metales

### TEMARIO

1. Conceptos básicos (8 horas)
  - 1.1. La estructura de los metales
  - 1.2. Enlaces cristalinos
  - 1.3. Defectos cristalinos
2. Dislocaciones y deformación plástica (8 horas)
  - 2.1. El generador de dislocaciones de Frank-Read
  - 2.2. Nucleación de dislocaciones
  - 2.3. Sistemas de deslizamiento
  - 2.4. Relaciones entre densidad de dislocaciones y esfuerzo
  - 2.5. Relación de Taylor
3. Fronteras de grano (6 horas)
  - 3.1. Definición
  - 3.2. Campo de esfuerzos en una frontera de grano
  - 3.3. Energía de una frontera de grano
  - 3.4. Las relaciones de Ranganathan
  - 3.5. Recristalización
4. Diagramas de fase (8 horas)
  - 4.1. Soluciones sólidas
  - 4.2. La regla de las fases
  - 4.3. Curvas de enfriamiento
  - 4.4. Transformaciones eutécticas y eutectoides
  - 4.5. Transformaciones peritéticas y peritectoides
  - 4.6. Otras transformaciones
5. Fenómenos de difusión (4 horas)
  - 5.1. Estado estacionario (1° ley de Fick)
  - 5.2. Estado no estacionario (2° ley de Fick)
6. Solidificación en metales (6 horas)
  - 6.1. Nucleación y fase líquida
  - 6.2. La interface líquido sólido
  - 6.3. Crecimiento dendrítico

- 6.4. Fenómenos de segregación y homogeneización
  
- 7. Aleaciones ferrosas (10 horas)
  - 7.1. Diagrama de fases Fe-C
  - 7.2. Estudio de las microestructuras características
  - 7.3. Las curvas TTT
  - 7.4. Procesos de endurecimiento en el acero
  
- 8. Aleaciones no ferrosas (10 horas)
  - 8.1. Al y sus aleaciones
  - 8.2. Cu y sus aleaciones
  - 8.3. Ti y sus aleaciones
  - 8.4. Ni y sus aleaciones
  
- 9. Temas selectos (4 horas)

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Hosford I. F., *Physical Metallurgy*, Taylor and Francis Group, Washington, 2005.
2. Reed-Hill R.E. and Abbaschian R., *Physical Metallurgy Principles*, 3rd. Edition, PWS Publishing Company, Boston, 1994.
3. Haasen P. and Cahn R.W., *Physical Metallurgy*, 3rd. Edition, North Holland Physics Publishing, Amsterdam, 1983.
4. Porter D.A. and Easterling K.E., *Phase Transformations in Metals and Alloys*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1984.
5. Gaskell D.R., *Introduction to Thermodynamics of Materials*, Taylor and Francis, Washington, 1995.
6. Smallman R.E., *Modern Physical Metallurgy*, 4rd. Edition, Butterworths, London, 1985.

## FUNDAMENTOS DE LA SOLIDIFICACIÓN

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Introducir al estudio de los mecanismos de nucleación y crecimiento, los cuales definen las diferentes microestructuras y fenómenos que suceden durante la solidificación de los metales y aleaciones.

### TEMARIO

1. Introducción (4 horas)
2. Nucleación (8 horas)
  - 2.1. Aspectos termodinámicos
  - 2.2. Nucleación homogénea
  - 2.3. Nucleación heterogénea
3. Solidificación de metales puros (8 horas)
  - 3.1. Distribución de temperaturas
  - 3.2. Estabilidad de la interfase pura
  - 3.3. Crecimiento de la interfase sólido-líquido
4. Solidificación de aleaciones (10 horas)
  - 4.1. Solidificación al equilibrio
  - 4.2. Solidificación normal
  - 4.3. Solidificación real
  - 4.4. Distribución de soluto
  - 4.5. Estabilidad de la interfase líquido- sólido
5. Solidificación de eutécticos y peritéticos (4 horas)
6. Crecimiento dendrítico (10 horas)
  - 6.1. Crecimiento de dendritas
  - 6.2. Crecimiento dendrítico equiaxial
  - 6.3. Crecimiento dendrítico columnar
7. Segregación (10 horas)
  - 7.1. Microsegregación
  - 7.2. Macrosegregación
8. Estructura de piezas coladas (10 horas)
  - 8.1. Macroestructura
  - 8.2. Variables que afectan la microestructura
  - 8.3. Teorías de formación
  - 8.4. Control de estructuras

## BIBLIOGRAFÍA

1. Flemmings M.C., *Solidification Processing*, McGraw Hill, 1974.
2. Minkoff I., *Solidification and Cast Estructure*, John Wiley & Sons, 1986.
3. Atsumi O., *Solidification, the Separation Theory and its Aplications*, Springer Verlag, 1987.
4. Chalmers B., Editor, *Principles of Solidification*, John Wiley, & Sons New York, 1964.
5. Kurz W. and Fisber D.J., *Fundamentals of Solidification*, Trans. Tech. Publications, 1984.

# MATERIALES COMPUESTOS

8 CRÉDITOS

## OBJETIVO

El alumno comprenderá y manejará el formalismo tensorial de la teoría de la elasticidad y lo aplicará a los “composites” formados por fibras unidireccionales, arreglos laminares y fibras cortas. Se estudiarán los mecanismos más característicos de falla de estos materiales así como el control de la interface metal-cerámico que regula en gran parte su comportamiento mecánico. A lo largo del curso se discutirán ejemplos de casos prácticos de aplicación de estos materiales.

## TEMARIO

1. Introducción (4 horas)
  - 1.1. El mercado de los materiales compuestos
  - 1.2. Tipos y clasificación de materiales compuestos
  
2. Materiales constituyentes y propiedades (16 horas)
  - 2.1. El concepto de transferencia de carga
  - 2.2. Refuerzos
    - 2.2.1. Descripción de las fibras comerciales
    - 2.2.2. Discusión comparativa de propiedades mecánicas
  - 2.3. Matrices
    - 2.3.1. Descripción de las matrices metálicas comerciales
    - 2.3.2. Discusión comparativa de propiedades mecánicas
  
3. La región interfacial (8 horas)
  - 3.1. Mecanismos de enlace entre refuerzo y matriz
  - 3.2. Métodos experimentales de medición de la fuerza de enlace
  - 3.3. Propiedades mecánicas y su correlación con la calidad de la interface
  
4. Materiales compuestos continuos (fibras largas) (16 horas)
  - 4.1. Métodos de fabricación
  - 4.2. Cálculo de resistencia y módulo específico
  - 4.3. Tensor esfuerzo-deformación caso general y casos particulares de interés
  - 4.4. Cálculo de constantes elásticas de sistemas anisotrópicos
  - 4.5. Transformación de coordenadas y constantes elásticas (formalismo general)
  - 4.6. Cálculo de constantes ingenieriles
  - 4.7. Compuestos unidireccionales
  - 4.8. Compuestos laminares
  - 4.9. Aplicaciones
  
5. Materiales compuestos discontinuos, (fibras cortas y partículas) (10 horas)
  - 5.1. Métodos de fabricación
  - 5.2. Distribución de esfuerzos y deformaciones dentro del material
  - 5.3. Modelos micromecánicos

#### 5.4. Aplicaciones

- 6. Mecanismos de fallas en materiales compuestos (10 horas)
  - 6.1. Fallas en esfuerzo uniaxial
  - 6.2. Fallas en esfuerzo transversal
  - 6.3. Fallas en esfuerzo de corte

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Hull D. and Clyne T.W., *An Introduction to Composites Materials*, Cambridge Solid State Science Series. Cambridge University Press, 2nd. Edition, 1996.
2. Daniels I.M. and Ishai O., *Engineering Mechanical of Composites Materials*, Oxford University Press, 1994.
3. Paipetis S.A. Editor, *Engineering Applications of New Composites*, Omega Scientific, 1988.
4. Ashbee K., *Fundamental Principles of Fiber Reinforced Composites*, Technomic Publishing Co., 1993.
5. Suresh S., Mortensen A. and Needleman A., *Fundamentals of Metal Matrix Composites*, Butterworth-Heinemann, 1993.
6. Everett R.K. and Arsenault R.J., Editors, *Metal Matrix Composites*, Academic Press., 1991.

## PROCESOS CINÉTICOS EN METALURGIA FÍSICA

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Este es un segundo curso en metalurgia física y tiene la intención de profundizar en tres aspectos básicos en el desarrollo de las transformaciones de fase en el estado sólido: difusión, cinética de nucleación y crecimiento e interfaces. En cuanto a difusión se pretende que el alumno analice las ecuaciones básicas de diferentes modelos, que conozca algunas formas de determinar difusividades y se introduzca a la utilización de la raíz cuadrada de la difusividad que se usa en aleaciones ternarias o de más elementos. En el aspecto de la cinética de nucleación y crecimiento se pretende que mediante el análisis el alumno llegue a distinguir los procesos difusionales de los subordinados al movimiento de la interfaz y en el rubro de interfaces que analice la dependencia de la energía de superficie en la morfología y cinética de las transformaciones y que conozca algunas técnicas para determinar energías de superficie en sólidos.

### TEMARIO

1. Difusión (24 horas)
  - 1.1. 1a y 2a leyes de Fick.
  - 1.2. Modelo atomístico y estadístico de la difusión. Movilidad atómica, potencial químico, difusión contrasentido, difusión multifase
  - 1.3. Difusión sustitucional. Efecto Kirkendall. Interdifusividad y difusividad intrínseca. Metodo de Matano para determinación de difusividades. Difusividad intersticial. Efecto Snoek
  - 1.4. Introducción al estudio de la difusividad: caso multicomponente. Raíz cuadrada de la difusividad
  - 1.5. Movimientos no difusionales: maclado
  
2. Cinética de nucleación y crecimiento (20 horas)
  - 2.1. Clasificación de las transformaciones
  - 2.2. Nucleación. Teorías clásicas: Volmer Weber, Becker Doring. Velocidad de nucleación
  - 2.3. Nucleación heterogénea. Nucleación homogénea y heterogénea en sólidos
  - 2.4. Crecimiento difusional. Crecimiento regido por la interfaz
  - 2.5. Cinética total. Ecuación de Avrami y Johnson-Mehl. Diagramas TTT
  
3. Interfaces (20 horas)
  - 3.1. Energía libre de superficie
  - 3.2. Clasificación de interfaces. Geometría de interfaces
  - 3.3. Medición de la energía libre de superficie en sólidos. Movimiento de borde de grano
  - 3.4. Fuerza motriz y movilidad de bordes

## BIBLIOGRAFÍA

1. Verhoeven J.D., *Principles of Physical Metallurgy*, John Wiley & Sons, 1974.
2. Porter D.A. and Easterling K.E., *Phase Transformations in Metals and Alloys*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1984.
3. Shewmon P.G., *Transformations in Metals*, McGraw Hill, 1969.
4. Shewmon P.G., *Diffusion in Solids*, McGraw Hill, 1996.
5. Doremus R.H., *Rates of Phase Transformations*, Academic Press, 1985.
6. Reed-Hill R.E. and Abbaschian R., *Physical Metallurgy Principles*, 3rd. Edition, PWS Publishing Company, Boston, 1994
7. Cahn R.N. and Haasen P., *Physical Metallurgy*, 4rd. Edition, Elsevier, 1996.
8. Christian J.W., *The Theory of Transformations in Metals and Alloys*, 2nd Edition. Pergammon Press, 1975.
9. Sinha A.K., *Ferrous Physical Metallurgy*, 4th Edition, Butterworths, London, 1985.
10. Smallman R.E., *Modern Physical Metallurgy*, 4rd. Edition, Butterworths, London, 1997.

## SOLIDIFICACIÓN

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Introducir al estudio de los mecanismos de nucleación y crecimiento, estudiar el origen de las diferentes microestructuras que resultan de la solidificación rápida y, finalmente, discutir el efecto que tiene la solidificación sobre la distribución de un soluto.

### TEMARIO

1. Introducción (2 horas)
  - 1.1. Estructuras características de la solidificación
  
2. Estabilidad morfológica de la interface plana (12 horas)
  - 2.1. Análisis lineal de la estabilidad
  - 2.2. La condición de igualdad
  - 2.3. El criterio de estabilidad
  - 2.4. Análisis no lineal de la estabilidad
  - 2.5. Estabilidad morfológica bajo condiciones fuera de equilibrio
  - 2.6. La transición de la interfase plana a celular o dendrítica
  
3. Inestabilidad morfológica de una interface plana (20 horas)
  - 3.1. Inestabilidad de la interface plana en sustancias puras
  - 3.2. Apilamiento de soluto en la interface plana
  - 3.3. Inestabilidad de la interface plana en aleaciones
  - 3.4. El análisis de la perturbación
  - 3.5. Equilibrio local de la interface plana
  - 3.6. Efectos de capilaridad
  
4. Crecimiento dendrítico (12 horas)
  - 4.1. Celdas
  - 4.2. Crecimiento dendrítico en el rango  $V_{cs} < V < V_{ab}$
  - 4.3. Crecimiento dendrítico equiaxiado
  - 4.4. Crecimiento de dendritas
  - 4.5. Grupos adimensionales
  - 4.6. Teoría del crecimiento dendrítico
  - 4.7. Modelos de crecimiento dendrítico
  
5. Fenomenología en la punta de la dendrita (12 horas)
  - 5.1. Radio de la punta de la dendrita
  - 5.2. Campo térmico en la punta de la dendrita
  - 5.3. Campo difusional en la punta de la dendrita
  - 5.4. Espaciamiento dendrítico primario
  - 5.5. Espaciamiento dendrítico secundario

6. Microsegregación (6 horas)
- 6.1. Segregación de soluto durante la solidificación
  - 6.2. Atrapamiento de soluto en condiciones fuera de equilibrio
  - 6.3. Mecanismos para la formación de estructuras libres de segregación

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Cahn R.W., Haasen P. and Kramer E.J., *Processing of Metals and Alloys*, Vol. 15, Materials Science and Technology, 1991.
2. Scheil E. Z., *Metallk.*, 34 (1942) 70.
3. Kurz W. and Fisher D.J., *Fundamentals of Solidification*, Trans Tech Publications, 1984.
4. Papapetrou A., Krist Z., *A92* (1953) 89.
5. Chalmers B., Editor, *Principles of Solidification*, Wiley, New York, 1964.
6. Fleegs M.C., *Solidification Processing*, McGraw-Hill, New York, 1974.
7. Aziz M. J., *J. Appl. Phys.*, 53 (1982) 115.
8. Kurz W., Giovanola B. and Trivedi R., *Acta Metall.*, 34 (1986) 823.
9. Jones H., *Rapid Solidification of Metals and Alloys.*, London, Institute of Metals, 1982.

#### BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Carslaw H.S. and Jaeger J.C., *Conduction of Heat in Solids*, 2nd Ed., Oxford University Press, London.
2. Geiger G.H. and Poirier D.R., *Transport Phenomena in Metallurgy*, Addison-Wesley, 1973.
3. Szekely J. and Tuemelis N.J., *Rate Phenomena in Process Metallurgy*, Wiley-Interscience, N.Y., 1971.
4. Jackson K.A., *Solidification*, American Society for Metals, Trans. Tech. Publications, 1984.

## SUPERPLASTICIDAD

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

El presente curso tiene como principal objetivo familiarizar al alumno con otros mecanismos que tiene la materia para deformarse. Los sistemas clásicos de deformación por dislocaciones se intercambian por procesos de deformación por deslizamiento de granos, originando deformaciones en los metales semejantes a los presentados por los polímeros.

### TEMARIO

1. Concepto de superplasticidad y origen histórico (4 horas)
2. Tipos de superplasticidad (6 horas)
  - 2.1. Superplasticidad por granos finos
  - 2.2. Superplasticidad por transformación de fase
3. Mecanismos de deformación a alta temperatura y relaciones fenomenológicas para superplasticidad por granos finos (8 horas)
  - 3.1. Mecanismos de fluencia lenta
  - 3.2. Mecanismos por deslizamiento de granos
4. Cristalografía de la estructura de granos finos (12 horas)
  - 4.1. Aleaciones basadas en aluminio
  - 4.2. Aleaciones basadas en magnesio
  - 4.3. Aceros superplásticos
  - 4.4. Aleaciones basadas en titanio
  - 4.5. Aleaciones basadas en níquel
  - 4.6. Aleaciones basadas en cinc
5. Cerámicas superplásticas (8 horas)
  - 5.1. Cerámicas basadas en óxido de circonio tetragonal
  - 5.2. Cerámicas basadas en alúmina
  - 5.3. Superplasticidad en materiales geológicos
6. Superplasticidad en compuestos intermetálicos (8 horas)
  - 6.1. Intermetálicos del níquel
  - 6.2. Intermetálicos con titanio
  - 6.3. Intermetálicos con hierro
7. Superplasticidad a alta rapidez de deformación (4 horas)
8. Ductilidad y fractura de materiales superplásticos (6 horas)
  - 8.1. Comportamiento de los superplásticos en tensión
  - 8.2. Cavitación

9. Conformado superplástico y soldadura por difusión (4 horas)
10. Ejemplos comerciales de productos superplásticos (4 horas)

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Padmanabhan K.A., *The Physics of the Superplasticity*, Springer Verlag, Berlin, 1985.
2. Nieh T.G., Wadsworth J., and Sherby O., *Superplasticity in Metal and Ceramics*, Cambridge, Solid State Science Series, 1996.
3. Mayo M.J., Kobayashi M., and Wadsworth J., *Superplasticity in Metals, Ceramics and Intermetallics*,. MRS V. 196, 1990.
4. Chokshi A.H., *Superplasticity in Advanced Materials*, ICSAM-97, Trans. Tech. Publications, Switzerland, 1997.



## **CAMPOS DE CONOCIMIENTO DE MATERIALES POLIMÉRICOS.**

- Física de polímeros.....158
- Fisicoquímica y caracterización de polímeros.....158
- Procesamiento de materiales poliméricos.....160
- Reciclaje de materiales poliméricos y compuestos.....163
- Síntesis de polímeros.....165

## FÍSICA DE POLÍMEROS

8 CRÉDITOS

### OBJETIVOS

La física de los polímeros es una disciplina que involucra una serie de conceptos básicos, métodos e ideas sobre la estructura conformacional de las cadenas poliméricas, termodinámica, mecánica estadística y consecuencias de resultados experimentales. En este curso se presenta una introducción a la física de los polímeros, orientado al entendimiento de la relación estructura-propiedad. Esto es, conocer las interrelaciones entre la estructura física y química de las moléculas y el comportamiento de los materiales poliméricos en sus diferentes estados condensados.

### TEMARIO

1. Estructura de los polímeros (8 horas)
  - 1.1. Polimerización
  - 1.2. Conformación de cadenas poliméricas
  - 1.3. Estados configuracionales de polímeros
  - 1.4. Distribución de pesos moleculares.
  
2. Comportamiento de los polímeros (6 horas)
  - 2.1. Sistemas poliméricos y diferentes estados condensados
  - 2.2. Estructura y propiedades
  - 2.3. Las cinco regiones del comportamiento viscoelástico
  - 2.4. Movilidad molecular y relajación
  
3. El estado cristalino (7 horas)
  - 3.1. Estructura y morfología de polímeros cristalinos
  - 3.2. Mecanismos de cristalización
  - 3.3. En bulto (masa) y por deformación
  - 3.4. Deformación de polímeros cristalinos
  - 3.5. Cinética de cristalización. Teoría de Avrami
  - 3.6. Propiedades y estructuras química y física
  
4. El estado vítreo (7 horas)
  - 4.1. Estructura de polímero vítreos
  - 4.2. Conformación y dinámica molecular
  - 4.3. La temperatura de transición vítrea
  - 4.4. Propiedades y estructura química
  
5. El estado elastomérico (9 horas)
  - 5.1. Entrecruzamiento químico y físico, modelos
  - 5.2. Procesos de relajación
  - 5.3. Elasticidad de hules

- 5.4. Principio de superposición tiempo-temperatura
  - 5.5. Curvas maestras y factor de corrimiento logarítmico.
  - 5.6. Modelos de volumen libre
  - 5.7. Efecto de las estructuras química y física
- 6. Estado cristal-líquido (5 horas)
    - 6.1. Estructura de mesofases
    - 6.2. Termodinámica y diagramas de fases
    - 6.3. Formación de cristales líquidos
    - 6.4. Efectos de las estructuras química y física
- 7. Teoría del comportamiento viscoelástico (9 horas)
    - 7.1. Principio de superposición de Boltzmann
    - 7.2. Módulos de relajación y de compliansa
    - 7.3. Modelos viscoelásticos
    - 7.4. Modelos viscoelásticos de Maxwell, Voigt y Zener.
    - 7.5. Módulos complejos y comportamiento periódico
    - 7.6. Espectros de relajación y de retardación
- 8. Teoría estadística de cadenas poliméricas (8 horas)
    - 8.1. Descripción Gaussiana de un conjunto de macromoléculas
    - 8.2. Ecuación de estado de una cadena polimérica
    - 8.3. Contribuciones energéticas en la elasticidad de hules
    - 8.4. Factores que afectan la elasticidad de los hules
    - 8.5. Grado de entrecruzamiento, hinchamiento, cargas y cristalización
- 9. Teorías moleculares de la relajación de esfuerzos (5 horas)
    - 9.1. Modelo de Rouse
    - 9.2. Modelo de Zimm
    - 9.3. Modelo de reptación

## BIBLIOGRAFÍA

### Estructura de los polímeros

1. Gedde. U.W., *Polymer Physics*, Chapman Hall, London, 1994.
2. Kumar, A., Gupta R. K., *Fundamentals of Polymer Engineering*, Ed. Marcel Dekker, 2003.
3. Odian, G., *Principles of polymerization*, Wiley & Sons, 2004.

### Comportamiento de los polímeros .

1. Munk P., *Introduction of Macromolecular Science*, Wiley-Interscience, N.Y., 1989.
2. Sperling L.H., *Introduction to Physical Polymer Science*, 2nd. Edition, Wiley-Interscience, N.Y., 1992.
3. Young R.J. and Lovell P.A., *Introduction to Polymers*, Chapman and Hall, 1991.

El estado cristalino.

1. Billmeyer F.W., Jr., *Textbook of Polymer Science*, 3rd. Ed., Wiley, N.Y., 1984.
2. Sedlacek B., Editor, *Morphology of Polymers*, de Gruyter, Berlín, 1986.
3. Woodward A.E., *Atlas of Polymer Morphology*, Hanser, Pub., N.Y., 1989.

El estado vítreo.

1. Ferry J.D., *Viscoelastic Properties of Polymers*, 3rd. Ed., Wiley, N.Y., 1981.
2. Perepechko I.I., *An Introduction to Polymer Physics*, Mir, Moscow, 1981.
3. *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, Wiley, N.Y., 1985.

El estado elastomérico.

1. Rosen H., *Fundamental Principles of Polymeric Materials*, 2nd. Ed., SPE, Wiley-Interscience, N.Y., 1993.
2. Tager A., *Physical Chemistry of Polymers*, 2nd. Ed., Mir, Moscow, 1978.
3. Brandrup J. and Immergut E.H., Editors, *Polymer Handbook*, Wiley, N.Y., 1986.

Estado cristal-líquido.

1. Sperling L.H., *Introduction to Physical Polymer Science*, 2nd. edition, Wiley-Interscience, N.Y., 1992.

Teoría del comportamiento viscoelástico.

- Ferry J.D., *Viscoelastic Properties of Polymers*, 3th. Ed., Wiley, N.Y., 1981.  
Billmeyer F.W. Jr., *Textbook of Polymer Science*, 3th. Ed. Wiley, N.Y., 1984.

Teoría estadística de cadenas poliméricas.

1. Mark J.E. and Erman B., *Rubberlike Elasticity, a Molecular Primer*, Wiley Interscience Pub., N.Y., 1988.
2. Aklonis J.J., and Macknight W.J., *Introduction to Polymer Viscoelasticity*, 2nd. Ed., Wiley, N.Y., 1983.
3. Ward I.M., *Mechanical Properties of Solid Polymers*, 2nd. Ed., Wiley, London, 1983.
4. Mark J.E., Eisenberg A., Graessley W.W. and Mandelkern L., *Physical Properties of Polymers*, 2nd. Ed., ACS Professional Ref. Book, Washington D.C., 1993.

Teorías moleculares de la relajación de esfuerzos.

1. Boyd R.H., and Phillips P.J., *The Science of Polymer Molecules*, Cambridge University Press., Camb., UK, 1993.
2. Doi M., and Edwards S., *The Theory of Polymer Dynamics*, Oxford Univ. Press., Oxford U.K., 1986.
3. Bird R.B., Curtis F., Armstrong R.C., and Hassager O., *Dynamics of Polymeric Liquids, Kinetic Theory*, Wiley, N.Y., 1987.

## FISICOQUÍMICA Y CARACTERIZACIÓN DE POLÍMEROS

8 CRÉDITOS

### OBJETIVOS

Estudiar las propiedades fisicoquímicas de los polímeros y su correlación con su estructura molecular y morfológica por medio de diferentes metodologías de caracterización de los materiales. Se busca que los estudiantes desarrollen habilidades para la selección de técnicas para medir las propiedades fisicoquímicas de los polímeros y la relacionen con la estructura de los polímeros.

### TEMARIO

1. Macromoléculas en solución (8 horas)
  - 1.1. Propiedades termodinámicas de soluciones poliméricas. Teorías de soluciones poliméricas
  - 1.2. Conformación de los polímeros en solución y en estado sólido. Concepto de volumen excluido
  - 1.3. Parámetros de solubilidad y equilibrio de fases
  
2. Gelación y vulcanización (8 horas)
  - 2.1. Teoría de Flory-Stockmayer
  - 2.2. Teoría de percolación
  - 2.3. Teoría dinámica de formación del gel
  
3. Peso molecular y su distribución (12 horas)
  - 3.1. Sistemas polidispersos. Funciones de distribución. Momentos de la distribución
  - 3.2. Masa molecular relativa y momentos estadísticos ( $M_n$ ,  $M_w$ ,  $M_z$ ,  $M_v$ )
  - 3.3. Métodos experimentales para su determinación:
    - 3.3.1. Métodos químicos
    - 3.3.2. Osmometría: vapor, membrana
    - 3.3.3. Ultracentrifugación. Sedimentación
    - 3.3.4. Cromatografía de permeación en gel
    - 3.3.5. Dispersión de luz
    - 3.3.6. Viscosimetría
  
4. Determinación de la microestructura de los polímeros (10 horas)
  - 4.1. Análisis experimental
  - 4.2. Técnicas de separación y purificación
  - 4.3. Cromatografías
  - 4.4. Espectroscopías infrarrojo y ultravioleta
  - 4.5. Resonancia magnética nuclear
  - 4.6. Rayos X
  - 4.7. Microscopía electrónica
  
5. Propiedades térmicas (10 horas)

- 5.1. Estado cristalino y amorfo. Factores que afectan la cristalinidad
  - 5.2. Mecanismos y cinética de cristalización
  - 5.3. Efectos de la variación de la temperatura. Fusión, descomposición
  - 5.4. Transmisiones térmicas. Temperatura de transición vítrea
  - 5.5. Análisis térmico diferencial (DSC y TGA)
6. Propiedades eléctricas (8 horas)
- 6.1. Polarizabilidad
  - 6.2. Propiedades dieléctricas
  - 6.3. Conductividad iónica
  - 6.4. Conductividad electrónica
  - 6.5. Comportamiento del material en un campo eléctrico alternante
7. Propiedades ópticas (8 horas)
- 7.1. Birrefringencia
  - 7.2. Propiedades ópticas no lineales
  - 7.3. Fotoluminiscencia

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Rodríguez F., *Principles of Polymer Systems*, McGraw-Hill, 2002.
2. Sperling L.H., *Introduction to Physical Polymer Science*, 2nd. Edition, Wiley-Interscience, N.Y., 2004.
3. Kurata M., *Thermodynamics of Polymers Solutions*, Hardwood, Ac. Pub., Blythe R., *Electrical Properties of Polymer*, Cambridge Univ. Press, 1979.

## PROCESAMIENTO DE MATERIALES POLIMÉRICOS

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

Capacitar al alumno en la metodología que permite el establecimiento de las ecuaciones que relacionan cuantitativamente las variables operativas de los principales sistemas de procesamiento de polímeros; esta capacitación deberá permitirle al estudiante proponer recomendaciones operativas científicamente fundamentadas, aplicables a sistemas industriales actualmente en operación.

### TEMARIO

1. Introducción (8 horas)
  - 1.1. Generalidades al respecto de las técnicas de procesamiento de los materiales poliméricos.
  - 1.2. Propiedades reológicas de los fundidos poliméricos.
  - 1.3. Flujo de fundidos poliméricos a través de líneas de conducción con geometrías simples.
    - 1.3.1. Flujo bajo presión.
    - 1.3.2. Flujo de arrastre.
  - 1.4. Selección de una metodología de procesamiento adecuada al material y al producto final deseado.
  
2. Extrusión (12 horas)
  - 2.1. Introducción a la tecnología de la extrusión.
  - 2.2. Extrusores de husillo simple.
  - 2.3. Extrusores de doble husillo.
    - 2.3.1. Extrusores corrotatorios.
    - 2.3.2. Extrusores contrarrotatorios.
  - 2.4. Coextrusión (láminas y películas multicapas)
  - 2.5. Generalidades para la operación de extrusores.
  - 2.6. Características del material e inestabilidades en extrusión.
  - 2.7. Tópicos selectos en extrusión.
  
3. Inyección (14 horas)
  - 3.1. Introducción a la tecnología de la inyección.
  - 3.2. Moldes y ductos en sistemas de inyección.
    - 3.2.1. Diseño geométrico de los sistemas de llenado.
    - 3.2.2. Sistemas de enfriamiento.
    - 3.2.3. Generalidades al respecto del diseño mecánico y construcción.
  - 3.3. Moldeo por inyección de termoplásticos.
  - 3.4. Moldeo por inyección de termofijos.
  - 3.5. Corrección de fallas durante el moldeo.
  - 3.6. Introducción al moldeo por inyección reactiva.
    - 3.6.1. Moldeo por inyección reactiva de poliuretanos.
    - 3.6.2. Moldeo por inyección reactiva en sistemas que no incluyen uretanos.
  - 3.7. Tópicos selectos en inyección.

- 4. Soplado (5 horas)
  - 4.1. Introducción a la tecnología del moldeo por soplado.
  - 4.2. Moldeo por inyección-soplado.
  - 4.3. Moldeo por extrusión-soplado.
  - 4.4. Introducción a la tecnología del soplado de películas tubulares.
  - 4.5. Soplado de películas tubulares.
  - 4.6. Aplicaciones del moldeo por soplado.
  
- 5. Compresión (3 horas)
  - 5.1. Introducción a la tecnología del moldeo por compresión.
  - 5.2. Moldeo por compresión.
  - 5.3. Desarrollos actuales en moldeo por compresión.
  
- 6. Moldeo por Transferencia (3 horas)
  - 6.1. Introducción a la tecnología del moldeo por transferencia.
  - 6.2. Moldeo por transferencia de termoplásticos.
  - 6.3. Moldeo por transferencia de termifijos.
  - 6.4. Aplicaciones el moldeo por transferencia.
  
- 7. Termoformado (3 horas)
  - 7.1. Introducción a la tecnología del termoformado.
  - 7.2. Esfuerzos y orientación en el material.
  - 7.3. Aplicaciones del termoformado.
  
- 8. Calandrado (3 horas)
  - 8.1. Introducción a la tecnología del calandrado.
  - 8.2. El modelo Newtoniano del calandrado.
  - 8.3. El modelo de la ley de la potencia en calandrado.
  - 8.4. Esfuerzos normales y viscoelasticidad en el calandrado.
  - 8.5. Aplicaciones en el calandrado.
  
- 9. Moldeo Rotacional (4 horas)
  - 9.1. Introducción a la tecnología del moleo rotacional.
  - 9.2. Moldeo en hueco con PVC.
  - 9.3. Polímeros en polvo.
  - 9.4. Comparación entre el moldeo rotacional y moldeo por inyección.
  - 9.5. Aplicaciones el moleo rotacional.
  - 9.6. Tópicos selectos en moldeo rotacional.
  
- 10. Fibras (5 horas)
  - 10.1. Introducción a la tecnología de la producción de fibras.
  - 10.2. Estiramiento del fundido newtoniano isotérmico para la formación de fibras.
  - 10.3. Estiramiento de fundido isotérmico que cumple la ley de la potencia para la formación de fibras.
  - 10.4. Estiramiento de fundido viscoelástico para la formación de fibras.
  - 10.5. Formación de fibras compuestas in situ.

- 10.5.1. Introducción a la formación de fibras compuestas in situ.
- 10.5.2. Revisión de los fenómenos que ocurren durante la formación de las fi compuestas in situ.
- 10.5.3. Formación de fibras compuestas a partir de mezclas extruídas.
- 10.5.4. Estiramiento uniaxial de mezclas poliméricas.
- 10.6. Tópicos selectos en tecnología de formación de fibras.

- 11. Recubrimientos (4 horas)
  - 11.1. Recubrimientos con rodillos.
  - 11.2. Recubrimiento con cuchillas.
  - 11.3. Recubrimientos libres.
  - 11.4. Tópicos selectos en tecnología de recubrimientos plásticos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Morton-Jones D.H., *Procesamiento de plásticos. Inyección de moldeo, hule, PVC*, Limusa, México, 1993.
2. Fohes M.J. y Hope P.S., *Polymer blends and alloys*, Blackie Academic & Professional Chapman Hall, London, 1993.
3. Ramos-de Valle, *Principios básicos de extrusión de plásticos*, Limusa, México, 1993.
4. Chabot J.F. Jr., *The development of plastics processing machinery and methods*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1992.
5. McCrom, N.G., Buckley C.P., Bucknall C.B. et al., *Principles of polymer engineering*, Oxford University Press, New York, 1988.
6. Kresta J.E., *Reaction injection molding*, Washington D. C., ACS Symp, 270, 1985
7. Menges-Mohren, *Moldes para inyección de plásticos*, Calypso S. A., México, 1983.
8. Martinelli F.G., *Twin-Screw Extruders a basic understanding*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1983.
9. Dealy J.M., *Rheometers for molten. Plastics practical guide and property measurement*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1982.
10. Cogswell F.N., *Polymer melt reology. A guide for industrial practice*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1981.
11. Middleman, S., *Fundamentals of Polymer Processing*, Mc Graw-Hill Co., New York, 1977.
12. Rubin I.I., *Injection molding. Theory and practice*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1972.

## RECICLAJE DE MATERIALES POLIMERICOS Y COMPUESTOS.

8 CRÉDITOS

### OBJETIVOS

La producción creciente de los materiales sintéticos, restricciones ambientales y requerimientos económicos formulan uno de los globales problemas de sociedad humana, el reciclaje (o el uso) de los materiales producidos después de su aplicación inicial. El curso presenta el concepto general de los diferentes aspectos de reciclaje de los polímeros, materiales a base de los polímeros y materiales compuestos. Para este curso se requiere que el alumno tenga los conocimientos de química inorgánica y orgánica, ingeniería química, química física, química y procesamiento de polímeros. La asignatura tiene una orientación teórica-práctica y requiere que el alumno dedique de 20 a 24 horas de trabajo individual.

### TEMARIO

1. Introducción (4 horas)
  - 1.1. Sociedad humana en siglo post-industrial: progreso y problemas.
  - 1.2. Reporte de estado de los residuos urbanos e industriales.
  - 1.3. Materiales poliméricos como parte dominante de los residuos.
  
2. Polímeros alrededor de nosotros (10 horas)
  - 2.1. ¿Qué es un polímero?
  - 2.2. Principios básicos de la síntesis polimérica.
  - 2.3. Estructura química y topología de los polímeros.
  - 2.4. Morfología de los polímeros.
  - 2.5. Clases principales de los polímeros.
  - 2.6. Polímeros producidos en la industria.
  - 2.7. Procesamiento de los polímeros y sus aplicaciones.
  
3. Estrategias generales de reciclaje de los polímeros (6 horas)
  - 3.1. Reciclaje mecánico y de materias primas.
  - 3.2. Recuperación de los productos en el área de la petroquímica y la energética.
  - 3.3. Incineración.
  - 3.4. Decomposición.
  - 3.5. Terraplén.
  
4. Preparación de los polímeros para reciclaje (12 horas)
  - 4.1. Colección de los polímeros.
  - 4.2. Clasificación y separación de los polímeros.
  - 4.3. Métodos instrumentales del análisis de las mezclas poliméricas.
  - 4.4. Reducción del tamaño de los polímeros.
  
5. Esquemas de reciclaje de los principales polímeros producidos en grande escala (16 horas)
  - 5.1. Poliolefinas (polietileno, polipropileno, copolímeros de baja y alta densidad)
  - 5.2. Cloruro de polivinilo y sus copolímeros,

- 5.3. Poliestereno y sus copolímeros,
  - 5.4. Tereftalatos de polietileno- y polibutileno,
  - 5.5. Termoplásticos,
  - 5.6. Nylons,
  - 5.7. Acrílicos,
  - 5.8. Poliuretanos,
  - 5.9. Composites poliméricos y plásticos termoendurecidos,
  - 5.10. Hules, elastómeros, llantas,
  - 5.11. Polímeros biodegradables.
- 6. Polímeros producidos en pequeña escala (2 horas)
    - 6.1. Polímeros con grupos fluoro, amino, siliconas, epóxidos, polisulfuros.
  - 7. Reciclaje de las materias primas (6 horas)
    - 7.1. Pirólisis,
    - 7.2. Hidrogenación,
    - 7.3. Gasificación.
  - 8. Descomposición, incineración y oxidación supercrítica de los polímeros (2 horas)
  - 9. Terraplén (2 horas)
  - 10. Aplicación de los polímeros reciclados (2 horas)
  - 11. Eficacia ecológica de las tecnologías modernas y dirección general de reciclaje de residuos poliméricos (2 horas)

#### BIBLIOGRAFIA

1. K. J. Saunders. *Organic polymer chemistry*, Chapman & Hall, Second edition, New York, 1988.
2. H. G. Elias. *An introduction to plastics*. VCH Publishers, New York, 1993.
3. John Scheirs. *Polymer Recycling*. Wiley Series in Polymer Science, Wiley & Sons, New York, 1998.
4. K. D. Sadhan, A. Isayev, K. Khait, Eds.,. *Rubber Recycling*. **CRC Press, 2005.**
5. G. Akovali, C. Bernanrdo, J. Leidner, L. A. Utracki, M. Xanthos, Eds. *Frontiers in the Science and Technology of Polymer Recycling*. NATO ASI Series, Series E: Applied Sciences. V. 351. Kluwer Academic Publishers, 1998.

#### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. Feldman, D. and A. Barbalata, Eds., *Synthetic polymers*, Chapman & Hall, New York, 1996.
2. Muccio, E.. *Plastic processing technology*. ASM International, 1994.
3. Kahovec, J. Ed. *Recycling of Polymers*. *Macromolecular Symposia*, v.135, 1998.
4. Ehrig, R. J. Ed. *Plastic Recycling*. Hanser Publishers, Munich, 1992.

## SÍNTESIS DE POLÍMEROS

8 CRÉDITOS

### OBJETIVOS

Esta asignatura trata sobre la química relacionada con la síntesis de polímeros a nivel de laboratorio. Es deseable que los alumnos tengan conocimientos de los mecanismos de química orgánica y de cinética de reacción. Esta materia es fundamental para los alumnos que desean hacer el posgrado en el área de materiales poliméricos.

### TEMARIO

1. Introducción (8 horas)
  - 1.1. Estructura macromolecular; Tipos de polímeros; Propiedades típicas
  - 1.2. Propiedades mecánicas; Estado viscoelástico
  - 1.3. Pesos moleculares, polidispersidad; sus métodos de determinación
  
2. Polimerización por pasos (28 horas)
  - 2.1. Principios; Consideración teórica
  - 2.2. Polímeros lineales, ramificados e intercrossados
  - 2.3. Distribución de pesos moleculares
  - 2.4. Punto de gelación; Aproximaciones de Carothers y Flory
  - 2.5. Polímeros intercrossados; Tecnología de intercrossamiento
    - 2.5.1. Poliésteres
    - 2.5.2. Resinas fenólicas
    - 2.5.3. Resinas epoxidas
    - 2.5.4. Plásticos Amino
  - 2.6. Ciclización vs polimerización lineal; Cinética
  - 2.7. Poliésteres y policarbonatos; Mecanismos & Procesos Industriales
  - 2.8. Poliamidas alifáticas; Mecanismo & Proceso Industrial
  - 2.9. Poliuretanos
  - 2.10. Polímeros de alto rendimiento
  
3. Polimerización por adición/en cadena. (22 horas)
  - 3.1. Polimerización por radicales libres
    - 3.1.1. Relación de estructura – reactividad; Etapas elementales
    - 3.1.2. Iniciación; Tipos de Iniciadores
    - 3.1.3. Transferencia de Cadena; Inhibición y retardación
    - 3.1.4. Cinética; Autoaceleración
    - 3.1.5. Métodos de polimerización; Condiciones generales
    - 3.1.6. Polimerización en emulsión & suspensión
    - 3.1.7. Principales polímeros comerciales
    - 3.1.8. Polimerización “viviente”
  - 3.2. Polimerización iónica
    - 3.2.1. Polimerización iónica vs radicalica; Polimerización “viviente”
    - 3.2.2. Polimerización catiónica
    - 3.2.3. Polimerización aniónica.

- 3.2.4. Copolímeros en bloque
- 3.3. Copolimerización
  - 3.3.1. Estereoquímica de polimerización
  - 3.3.2. Tipos de estereoisomerismo; Polímeros estereorregulares
  - 3.3.3. Polimerización de alquenos en catalizadores de Ziegler-Natta
  - 3.3.4. Polimerización de alquenos en metalicenos
- 4. Polimerización por rompimiento de ciclo (4 horas)
  - 4.1. Tipos de monómeros; Características generales
  - 4.2. Polimerización iónica; Mecanismo
  - 4.3. Otros tipos de polimerización de monómeros cíclicos
- 5. Polímeros inorgánicos (2 horas)

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Odian G., *Principles of Polymerization*, 3rd. Edition, Wiley Interscience, N.Y., 1991 (se recomienda como libro de texto).
2. Mijis W.J., Editor, *New methods for Polymer Synthesis*, Plenum Press, New York and London, 1992.
3. Sandler S.R. and Kano W., *Polymer Synthesis*, Vol. 1, 2nd. Edition, Academic Press, San Diego, 1992.
4. Ravve A., *Principles of Polymer Chemistry*, Plenum Press, New York and London, 1995.



#### **4.4. ACTIVIDADES ACADÉMICAS DE LAS MATEMÁTICAS**

- Algoritmos y métodos computacionales.....172
- Matemáticas aplicadas a materiales II.....176
- Modelado numérico I.....178
- Modelado numérico II.....180
- Teoría de grupos.....182

## ALGORITMOS Y MÉTODOS COMPUTACIONALES

8 CRÉDITOS

### OBJETIVOS

Este curso cubre algoritmos y técnicas de programación avanzadas, útiles para el estudio de sistemas complejos, como los que generalmente se estudian en ciencias de materiales. Este curso se aboca al aprendizaje de técnicas numéricas, computacionales y de programación. En el curso se hace énfasis en el aprendizaje de un lenguaje de programación científico de alto nivel, poniendo énfasis en las técnicas de procesamiento, supercómputo y algoritmos computacionales de alto rendimiento. En particular, aplica el uso de metodologías modernas de programación a la solución de problemas científicos complejos, con herramientas adecuadas a computadoras de multiprocesadores. Al final del curso, el alumno debe demostrar su competencia en la solución de un problema de actualidad en las ciencias computacionales aplicadas a ciencia de materiales. Se requiere que el alumno tenga los conocimientos al nivel de la asignatura básica del Posgrado "Fundamentos de Matemáticas para Materiales". La presente asignatura tiene una orientación teórico-práctica; se proponen dos horas de teoría más dos horas práctico-teóricas, en donde el alumno instrumenta el conocimiento en las computadoras y requiere que el alumno dedique de 10 a 12 horas de trabajo individual.

### TEMARIO

1. INTRODUCCIÓN AL UNIX (16 horas)
  - 1.1. Breve historia
  - 1.2. Estructura del Unix
    - 1.2.1. Sistema operativo
    - 1.2.2. Sistema de archivos
    - 1.2.3. Directorios, archivos e inodos
  - 1.3. Inicio de sesión
    - 1.3.1. Sumas
    - 1.3.2. Tipo de terminal
    - 1.3.3. Passwords
    - 1.3.4. Fin de sesión
  - 1.4. Estructura de la línea de comandos
    - 1.4.1. Teclas de control
    - 1.4.2. Control de la terminal-stty
    - 1.4.3. Obteniendo Ayuda
  - 1.5. Comandos de navegación y control
    - 1.5.1. pwd, cd, medir, rmdir, ls
  - 1.6. Comandos de mantenimiento de archivos
    - 1.6.1. cp, mv, rm, ln, cat
    - 1.6.2. Permisos de archivos
    - 1.6.3. chmod, chown, chgrp
  - 1.7. Comandos de despliegue
    - 1.7.1. Echo

- 1.7.2. more, less, pg
  - 1.7.3. head, tail
  - 1.8. Comandos de control del sistema e impresión
    - 1.8.1. df, du, ps, kill, who, whereis, which, time
    - 1.8.2. hostname, uname
    - 1.8.3. script
    - 1.8.4. date
    - 1.8.5. lp, lpr, lpstat, lpq, cancel, lprm, pr
    - 1.8.6. tar, uuencode, uudecode, dd
  - 1.9. Shells
    - 1.9.1. Variables de Entorno
    - 1.9.2. Bourne shell
    - 1.9.3. C shell
    - 1.9.4. Control de procesos
    - 1.9.5. Redirección de salida/entrada
  - 1.10. Procesamiento de texto
    - 1.10.1. grep, sed, awk, vi, ex
  - 1.11. Trabajando con archivos
    - 1.11.1. cmp, dic, cut, paste, touch, wc, sort, tee, strings, tr, file, find
  - 1.12. Trabajo en red
    - 1.12.1. telnet, ssh, ftp, sftp, rsh, rcp
  - 1.13. Programando en Unix
    - 1.13.1. Valores de parámetros, quoting, variables, substitución de parámetros, entrada, comandos de control
    - 1.13.2. Funciones
2. LENGUAJES (FORTRAN 90 ó C) (16 horas)
- 2.1. Estructura de un programa
    - 2.1.1. C shell
    - 2.1.2. Estructura
    - 2.1.3. Representación de números y caracteres
    - 2.1.4. Variables y constantes
    - 2.1.5. Caracteres especiales
    - 2.1.6. Compilación y enlace
  - 2.2. Aritmética
    - 2.2.1. Operadores aritméticos
    - 2.2.2. Operadores lógicos
    - 2.2.3. Operadores relacionales
    - 2.2.4. Truncado y redondeo
  - 2.3. Declaraciones que modifican el flujo
    - 2.3.1. DO, while, if then else elseif, case, goto
  - 2.4. Funciones y subrutinas
  - 2.5. Entrada y salida
  - 2.6. Arreglos y apuntadores
3. MÉTODOS NUMÉRICOS (32 horas)
- 3.1. Polinomios de Taylor

- 3.1.1. El error en los polinomios de Taylor
- 3.1.2. Evaluación polinomio
- 3.2. Representación de números en una computadora
  - 3.2.1. El sistema binario
  - 3.2.2. Números de punto flotante
- 3.3. Error
  - 3.3.1. Magnetismo
  - 3.3.2. Definición, fuentes y ejemplos
  - 3.3.3. Propagación de errores
  - 3.3.4. Sumas
- 3.4. Búsqueda de raíces
  - 3.4.1. Método de bisección
  - 3.4.2. Método de Newton
  - 3.4.3. Método de secantes
  - 3.4.4. Iteración de punto fijo
  - 3.4.5. Problemas de búsqueda de raíces mal comportadas
- 3.5. Interpolación
  - 3.5.1. Interpolación polinomio
  - 3.5.2. Diferencias divididas
  - 3.5.3. Error en la interpolación polinomio
  - 3.5.4. Interpolación por medio de funciones Spline
- 3.6. Aproximación de funciones
  - 3.6.1. El problema mejor aproximado
  - 3.6.2. Polinomios de Chebyshev
  - 3.6.3. Método de aproximación cercano-mínimax
- 3.7. Integración y diferenciación numérica
  - 3.7.1. Reglas del trapecoide y Simpson
  - 3.7.2. Fórmulas de error
  - 3.7.3. Integración Gaussiana numérica
  - 3.7.4. Diferenciación numérica
- 3.8. Solución de sistemas de ecuaciones lineales
  - 3.8.1. Sistemas de ecuaciones lineales
  - 3.8.2. Eliminación Gaussiana
  - 3.8.3. Aritmética de matrices
  - 3.8.4. Factorización LU
  - 3.8.5. Error al resolver sistemas lineales
  - 3.8.6. Ajuste de mínimos cuadrados
  - 3.8.7. Problemas de eigenvalores
  - 3.8.8. Métodos iterativos
  - 3.8.9. Sistemas no lineales
- 3.9. Solución numérica de ecuaciones diferenciales
  - 3.9.1. Sumas
  - 3.9.2. Teoría de ecuaciones diferenciales
  - 3.9.3. Método de Euler
  - 3.9.4. Análisis de convergencia del método de Euler
  - 3.9.5. Métodos Taylor y Runge-Kutta
  - 3.9.6. Métodos "multistep" o multi-pasos

- 3.9.7. Estabilidad de los métodos numéricos
- 3.9.8. Sistemas de ecuaciones diferenciales

## BIBLIOGRAFÍA

1. Atkinson K. E., *Elementary Numerical Analysis*, John Wiley and Sons, Inc, 1992.
2. Rice J. R., *Numerical Methods, Software and Analysis*, Academic Press, Inc, 1993.
3. Press W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Flannery B. P., *Numerical Recipes in Fortran or C*, Cambridge U. Press, 1992.
4. Fiamingo F. G., DeBula L., Condron L., *Introduction to Unix*, University Technology Services, The Ohio State University.
5. Abrahams P. W., Larson B. R., *Unix for the Impatient*, Addison-Wesley, 1992.
6. Kernighan B.W., Pike R., *The Unix Programming Enviroment*, Prentice Hall, 1984.
7. Smith I.M., *Programing in FORTRAN 90*, John Wiley & Sons, 1995.
8. Kernighan B. & Ritchie D., *The C Programming Language*, Prentice Hall / PTR.
9. Griffiths D. V. and Smith I. M., *Numerical Methods for Engineers, 2nd. Ed.* Chapman & Hall/RC, Boca Raton, FL, 2006.
10. Flowers B. H., *An Inntroduction to Numerical Methods in C++*, Oxford University Press, Oxford, UK, 2000.
11. Newham C. and Rosenblatt B., *Learning the bash Shell: Unix Shell Programming*, O'Reilly Media Inc., Sebastopol, CA, 3<sup>rd</sup> Ed, 2005.
12. Severance C. and Dowd K., *High Performace Computing*, 2nd. Ed, O'Reilly, Beffing, UK, 1998.
13. Ortega J. M., *An Introduction to Fortran 90 for Scientific Computing*, Oxford University Press, Oxford, UK, 1994.
14. Dongarra J. J., Duff D. C., Sorensen D. C. and van der Vost H. A., *Numerical Linear Algebra for High-Performance Computers*, Siam, Philadelphia, PA, 1988.
15. Ralston A. and Rabinowitz P. A., *First Course in Numerical Analysis*, Mc Graw-Hill College, 2001.
16. Skiba Y. N., *Introducción a los Métodos Numéricos*, UNAM 2001.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Koonin S. E., Meredith D. C., *Computational Physics*, Addison Wesley Publishing Co, 1990.
2. LINPACK, *Fortran 77 Routines for solving common Problems in Numerical Linear Algebra*, 1979. [www.cisl.ucar.edu/softlib/LINPACK.html](http://www.cisl.ucar.edu/softlib/LINPACK.html). Fuera de servicio.
3. LAPACK, *Lybrary of Fortran 77 Routines for Solving Common Problems in Numerical Linear Algebra*, 1990. [www.cisl.ucar.edu/softlib/LAPACK](http://www.cisl.ucar.edu/softlib/LAPACK), html
4. EISPACK, *Fortran Subroutines for Computing the Eigenvalues end Eigenvectors* 1973. [www.netlib.org/eispack](http://www.netlib.org/eispack)
5. Ataz, J., *Vim: Referencia Rápida*, Murcia, España, 2004. <http://es.tldp.org/Tutoriales/doc-tutorial-vim/Guia-Vim.pdf>

## MATEMATICAS APLICADAS A MATERIALES II

8 CRÉDITOS

### OBJETIVOS

En este curso se cubren algunas herramientas matemáticas avanzadas para el estudio de materiales complejos. Se enfoca en la aplicación de metodologías analíticas y aproximadas, útiles en el estudio de sistemas no-lineales. El curso tiene como objetivo el estudio teórico-práctico del análisis de variables complejas y del álgebra lineal para la solución de problemas afines a la ciencia e ingeniería de materiales. Para este curso se requiere que el alumno tenga los conocimientos al nivel de la asignatura básica del Posgrado Matemática Aplicadas a Materiales. Esta asignatura tiene una orientación teórico-práctica. Se proponen cuatro horas de teoría y dos de cómputo semanales y requiere que el alumno dedique de 10 a 12 horas de trabajo individual.

### TEMARIO

1. ECUACIONES DIFERENCIALES NO-LINEALES [Referencia 1, capítulo 1 y Referencia 2, capítulo 18] (12 horas)
  - 1.1. Sistemas dinámicos
  - 1.2. Mapas de Poincaré o Bifurcaciones en sistemas dinámicos
  
2. CALCULO DE VARIACIONES (16 horas)  
[Referencia 3, capítulo 10 y Referencia 2, capítulo 17]
  - 2.1. Mapas de Poincaré
  - 2.2. Sistemas de ecuaciones de Euler y Lagrange
  - 2.3. Valores extremos de integrales
  
3. CALCULO AVANZADO DE VARIABLE COMPLEJA (12 horas)  
[Referencia 3, capítulos 11 a 16]
  - 3.1. Funciones de variable compleja
  - 3.2. Integrales en el campo complejo
  - 3.3. Series complejas
  - 3.4. Mapeos conformes
  
4. ALGEBRA LINEAL NUMERICA (24 horas)  
[Referencia 4, capítulos 1 a 4]
  - 4.1. Fundamentos de álgebra lineal
    - 4.1.1. Ideas básicas de álgebra lineal
    - 4.1.2. Multiplicación de matrices
    - 4.1.3. Estructuras matriciales especiales. Matrices de bloque y matrices poco densas
    - 4.1.4. "Mathematica" e IMSL para sistemas lineales
    - 4.1.5. Computación vectorial
  - 4.2. Sensibilidad de sistemas de ecuaciones
    - 4.2.1. Normas de matrices

- 4.2.2. Precisión en cómputo matricial
- 4.2.3. Ortogonalidad y descomposición singular (SVD)
- 4.2.4. Sensibilidad de sistemas de ecuaciones
- 4.3. Sistemas de ecuaciones lineales
  - 4.3.1. Sistemas triangulares y eliminación Gaussiana; Factorización LU
  - 4.3.2. Técnicas de pivoteo y análisis de precisión
  - 4.3.3. Sistemas positivos definidos
  - 4.3.4. Factorización de Cholesky
  - 4.3.5. Sistemas en bandas o en bloques; eliminación Gaussiana para matrices poco densas
- 4.4. Mínimos cuadrados y ortogonalización
  - 4.4.1. Descomposición QR vía transformaciones de Householder, Gram-Schmidt modificado y Givens
  - 4.4.2. El problema de mínimos cuadrados
  - 4.4.3. Ecuaciones normales y el problema de mínimos cuadrados de rango completo
- 4.5. Problemas de valores propios
  - 4.5.1. Propiedades y descomposiciones unitarias
  - 4.5.2. Aproximación y teoría de perturbaciones
  - 4.5.3. Método de iteración de potencias
  - 4.5.4. Algoritmo QR
  - 4.5.5. Cociente de Rayleigh para sistemas simétricos

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Wiggins S., *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos*, Springer-Verlag, NY, 1990.
2. Arfken G. and Weber H., *Mathematical Methods for Physicists*, 5th. Ed., Harcourt/Academic Press, SD, 2001.
3. Greenberg M.D., *Foundations of Applied Mathematics*, Prentice-Hall, N.J., 1987.
4. Watkins D.S., *Fundamentals of Matrix Computations*, John Wiley & Sons, N.Y., 1991.

## **BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**

1. Heinrici P., *Applied and Computational Complex Analysis: Power Series, Integration, Contour Mapping*, John Wiley & Sons, New York, 1988.
2. Jones Gareth A. and Singerman D., *Complex Functions. An algebraic and Geometric Viewpoint*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, GB, 1987.
3. Wolfram S., *The Mathematica Book*, 3th. Ed., Cambridge Univ. Press., Cambridge, GB, 1996.

## MODELADO NUMÉRICO I

8 CRÉDITOS

### OBJETIVOS

Este curso integra tres áreas básicas para el estudio de sistemas complejos: mecánica del continuo, ecuaciones diferenciales y análisis numérico. Este curso y el de Modelado Numérico II deben considerarse como una sola unidad, con una duración total de un año. En esta primera parte se hace énfasis en los conceptos de mecánica del continuo, los fundamentos de las técnicas numéricas y soluciones de sistemas en estados estacionarios. Para estos cursos es requisito indispensable contar con conocimientos equivalentes a los cursos Métodos de Matemáticas Aplicadas I y II y el curso básico de Mecánica de Medios Continuo, así como el manejo de un lenguaje avanzado de programación equivalente al curso Algoritmos y Métodos Computacionales.

### TEMARIO

1. Ecuaciones de sistemas macroscópicos (10 horas)
  - 1.1. El concepto del continuo
  - 1.2. Deformaciones y esfuerzos
  - 1.3. Ecuaciones de balance
  - 1.4. Ecuaciones constitutivas de fluidos y sólidos
  
2. Métodos numéricos (26 horas)
  - 2.1. Ecuaciones diferenciales parciales
  - 2.2. Condiciones iniciales y de frontera
  - 2.3. Aproximación de funciones por polinomios
  - 2.4. Aproximación polinomial en varias dimensiones
  - 2.5. Soluciones por diferencias finitas
  - 2.6. Estimación de errores por diferencias finitas
  - 2.7. Consistencia y estabilidad de las diferencias finitas
  - 2.8. Método de residuos ponderados
  - 2.9. Método de elementos finitos de Galerkin
  - 2.10. Método de elementos finitos de Galerkin para 2 dimensiones
  - 2.11. Cotas en el error en elementos finitos
  - 2.12. Método de colocación
  - 2.13. Cotas de error en el método de colocación
  - 2.14. Método de integración de fronteras
  
3. Sistemas en estados estacionarios (28 horas)
  - 3.1. La ecuación de Laplace
  - 3.2. Problemas de frontera bien definidos
  - 3.3. Propiedades generales del operador de Laplace
  - 3.4. Principios variacionales
  - 3.5. Principios maximales
  - 3.6. Invariancia bajo translaciones
  - 3.7. Teoremas para representaciones integrales

- 3.8. Aproximaciones por diferencias finitas
- 3.9. Condiciones de frontera mediante diferencias finitas
- 3.10. Forma matricial de las ecuaciones por diferencias finitas
- 3.11. Métodos directos de solución
- 3.12. Métodos iterativos
- 3.13. Métodos de convergencia y temas afines
- 3.14. Métodos por elementos finitos
- 3.15. Métodos por integración de fronteras

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Morton K.W. and Mayers D.F., *Numerical Solution of Partial Differential Equations*, Cambridge U. Press, Cambridge UK., 2008.
2. LeVeque R.J., *Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Equations*, Siam, Philadelphia, PA, 2007.
3. Thomas J.W., *Numerical Partial Differential Equations: Finite Difference Methods*, Springer-Verlag, NY, 1995.
4. Iserles A., *Numerical Analysis of Differential Equations*, Cambridge U. Press, Cambridge UK., 2009.
5. Quarteroni A., Vali A., *Numerical Approximation of Partial Differential Equations*, Springer-Verlag. Berlin, 2008.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Aliabadi M. H. and Rooke, D. P., *Numerical Fracture Mechanics*, Kluwe Academic Publishers, Norwel, MA, 2008.
2. Kulikovskii A. G., Pogorelov N.V. and Semenov A. Y., *Mathematical Aspects of Numerical Solutions of Hyperbolic Systems*, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL, 2001.
3. *MODFLOW and Related Programs*, U. S. Geological Survey, Denver, CO, <<http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow.html>>
4. Chung T. J., *Computational Fluid Dynamics*, Cambridge U. Press, Cambridge UK., 2004
5. Hesthaven J. S. and Warburton T., *Nodal Discontinuous Galerkin Methods: Algorithms, Analysis and Applications*. Springer Science+Business Media LLC, N. Y., 2008.
6. Brebbia C. A. and Mammoli A. A., Eds. *Computational Methods and Experiments in Material Characterisation*, Wit Press, New Forest, UK, 2009.

## MODELADO NUMÉRICO II

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

El objetivo del curso es presentar las ideas, conceptos y técnicas necesarias para la simulación y modelado de procesos macroscópicos en sistemas complejos a nivel avanzado, como el necesario para el trabajo teórico-numérico en Ciencias e Ingeniería de Materiales. Este curso y el de Modelado Numérico I deben considerarse como una sola unidad, con una duración total de un año. Este curso corresponde a la segunda parte y se hace énfasis en las aplicaciones físicas, utilizando los aspectos matemáticos, numéricos y físicos de tres clases de ecuaciones diferenciales parciales: elípticas, parabólicas e hiperbólicas; así como también, ecuaciones no-lineales y sistemas de ecuaciones acopladas, entre otras. Para este curso es requisito haber cursado Modelado Numérico I, o la autorización expresa del maestro.

### TEMARIO

1. Sistemas disipativos (20 horas)
  - 1.1. Introducción
  - 1.2. La ecuación de calor
  - 1.3. Métodos por diferencias finitas
  - 1.4. Métodos por elementos finitos
  
2. Sistemas no disipativos (24 horas)
  - 2.1. Problemas bien definidos
  - 2.2. Propiedades generales de ecuaciones no-lineales
  - 2.3. Métodos de diferencias finitas para problemas lineales
  - 2.4. Métodos de diferencias finitas para sistemas no-lineales
  - 2.5. Elementos finitos para ecuaciones hiperbólicas
  
3. Ecuaciones de orden superior, no-lineales o sistemas acoplados (20 horas)
  - 3.1. Ecuación bi-armónica
  - 3.2. Problemas no-lineales
  - 3.3. Simulación de deformaciones de sólidos
  - 3.4. Modelado de reservorios petroleros

### BIBLIOGRAFÍA

1. Thomas J. W., *Numerical Partial Differential Equations: Conservative Laws and Elliptic Equations*, Springer-Verlag, N. Y., 1995.
2. Grossman C., Ross H. and Stynes M., *Numerical Treatment of Partial Differential Equations*, Springer, Berlin, 2005.
3. Leveque R. J., *Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems*, Cambridge University Press, Cambridge UK., 2002.

4. Karniadarkis G. E. and Sherwin S., *Spectral/hp Element Methods for Computational Fluid Dynamics*, Oxford University Press, Oxford, UK, 2005.
5. Wriggers P., *Nonlinear Finite Element Methods*, Springer-Verlag, Berlin, 2008
6. Kulikovskii A. G., Pogorelov N.V. and Semenov A. Y., *Mathematical Aspects of Numerical Solutions of Hyperbolic Systems*, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL, 2001.
7. Hesthaven J. S. and Warburton T., *Nodal Discontinuous Galerkin Methods: Algorithms, Analysis and Applications*, Springer Science+Business Media LLC., NY, 2008.
8. Chorin A. J. and Marsden J. E., *A Mathematical Introduction to Fluid Mechanics*, Springer-Verlag, NY, 1993.
9. Dafermos C. M., *Hyperbolic Conservation Laws in Continuum Physics*, Springer-Verlag, Berlin, 2005.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. Brebbia C. A. and Mammoli A. A., Eds. *Computational Methods and Experiments in Material Characterisation*, Wit Press, New Forest, UK, 2009.
2. *MODFLOW and Related Programs*, U. S. Geological Survey, Denver, CO, <<http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow.html>>
3. Chung T. J., *Computational Fluid Dynamics*, Cambridge U. Press, Cambridge UK., 2004
4. Landau L. D. and Lifshitz E. M., *Theory of Elasticity*, Reed Educational and Professional Publishing Ltd., Oxford, UK, 1986.
5. Aliabadi M. H. and Rooke D. P., *Numerical Fracture Mechanics*, Kluwe Academic Publishers, Norwel, MA, 2008.
6. Crisfield M. A., *Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures: Volume 2*, John Wiley & Sons, Inc., Baffins Lane, UK, 2001.
7. Ji J., *The Finite Element Method in Electromagnetics*, John Wiley & Sons, Inc., NY, 2002.

## TEORÍA DE GRUPOS

8 CRÉDITOS

### OBJETIVO

El objetivo de este curso es el familiarizar al alumno con el uso de la teoría de grupos en la Ciencia e Ingeniería de Materiales, comenzando con una presentación de las bases matemáticas de la teoría de grupos y después avanzando a su uso en diversas áreas de esta disciplina.

### TEMARIO

1. Introducción (2 horas)
  - 1.1. Propiedades de los grupos
  - 1.2. Subgrupos y clases
2. Simetría molecular y grupos de simetría (9 horas)
  - 2.1. Elementos y operaciones de simetría
  - 2.2. Planos y reflexiones
  - 2.3. Centros de inversión
  - 2.4. Ejes y rotaciones propias e impropias
  - 2.5. Productos de operaciones de simetría
  - 2.6. Relaciones generales entre los elementos y las operaciones de simetría
  - 2.7. Isomerismo óptico
  - 2.8. Grupos puntuales
  - 2.9. Clases de las operaciones de simetría
  - 2.10. Procedimiento sistemático para la clasificación de la simetría de una molécula
3. Representaciones de los grupos de simetría (9 horas)
  - 3.1. Representaciones de los grupos
  - 3.2. Gran teorema de la ortogonalidad
  - 3.3. Tablas de caracteres
  - 3.4. Representaciones de grupos cíclicos
4. La Mecánica Cuántica y la teoría de grupos (7 horas)
  - 4.1. Funciones de onda como bases de las representaciones irreducibles
  - 4.2. Producto directo y su uso
  - 4.3. Propiedades de los elementos de matriz y probabilidades de transiciones espectrales
5. Combinaciones lineales (7 horas)
  - 5.1. Operadores de proyección completos
  - 5.2. Operadores de proyección incompletos
  - 5.3. Construcción de combinaciones lineales de orbitales adaptadas a la simetría en una, dos y tres dimensiones y en sistemas cíclicos
6. Teoría de Orbitales Moleculares (7 horas)

- 7. Ligand Field Theory (7 horas)
- 8. Simetría en cristalografía (8 horas)
- 9. Teoría de bandas usando teoría de grupos (8 horas)

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Cotton A., *Chemical Applications of Group Theory*, John Wiley, 1990.
2. Altman S.L., *Band Theory of Solids: An Introduction from the Point of View of Symmetry*, Clarendon Press, Oxford, 1991.
3. Prince E., *Mathematical Techniques in Crystallography and Materials Science*, Springer-Verlag, 1994.
4. Nowick A.S., *Crystal Properties via Group Theory*, Cambridge University Press, 1995.
5. Nussbaum A., *Teoría de Grupos Aplicada para Químicos, Físicos e Ingenieros*, Editorial Reverté, S.A., México, 1975.
6. Cornwell J.F., *Group Theory in Physics*, Vol. I, Academic Press, 1989.
7. Sternberg S., *Group Theory and Physics*, Cambridge University Press, 1994.
8. Hammermesh M., *Group Theory and its Application to Physical Problems*, New-York: Academic Press, 1963-1975.
9. Cornwell J.F., *Group Theory and Electronic Energy Bands in Solids*, Amsterdam: North Holland, 1969.



## **4.5. ACTIVIDADES ACADÉMICAS OPTATIVAS**

Área de Materiales Cerámicos

1. **Temas Selectos de Materiales Cerámicos**

Área de Materiales Complejos

1. **Temas Selectos de Materiales Complejos**
2. **Temas Selectos de Medios Continuos**

Área de Materiales Electrónicos

1. **Temas Selectos de Dispositivos Electrónicos**
2. **Temas Selectos de Materiales Electrónicos**
3. **Temas Selectos de Materiales Magnéticos**
4. **Temas Selectos de Procesos Ópticos en Materiales Electrónicos**
5. **Temas Selectos de Semiconductores**
6. **Temas Selectos de Sistemas Desordenados**
7. **Temas Selectos de Superconductividad**

Área de Materiales Metálicos

1. **Temas Selectos de Caracterización de Materiales**
2. **Temas Selectos de Mecánica de Materiales**
3. **Temas Selectos de Metalurgia**

Área de Materiales Poliméricos

1. **Materiales Funcionales Orgánicos**
2. **Temas Selectos de Polímeros**

#### **4.6. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Durante el segundo semestre, el alumno deberá definir el tema de su documento escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación), a través de la actividad académica denominada Proyecto de Investigación. Por lo tanto, durante el segundo semestre el alumno, conjuntamente con su tutor principal, deberá informarse acerca de los posibles temas que podría desarrollar y definir aquel que resulte de su interés. Al término del semestre, el alumno entregará el proyecto de investigación que como elementos mínimos deberá contener: tema, objetivo(s), antecedentes y metodología, mismo que será evaluado y calificado por el comité tutor.

#### **ESTANCIA DE INVESTIGACIÓN**

Durante el tercer semestre, el alumno realizará una estancia de investigación en un laboratorio o en una instalación industrial, con el propósito de realizar actividades de investigación tecnológica en materiales, de aprendizaje de técnicas de preparación y caracterización de materiales o de cualquier otra actividad de interés profesional en el área de la ciencia e ingeniería de materiales. Estas actividades estarán enfocadas a que el alumno desarrolle la investigación de su trabajo escrito de maestría. El programa de actividades debe estar avalado por su tutor principal y debe ser aprobado por su comité tutor. La estancia será evaluada y calificada por el comité tutor.

#### **SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN**

Durante el cuarto semestre, el alumno realizará el seminario de investigación. Este seminario está enfocado para que el alumno termine su investigación, desarrolle su documento escrito (tesis, reporte de investigación o protocolo de investigación), según corresponda, lo someta a la aprobación de su comité tutor (así como al representante designado por la empresa, en el caso de reporte de investigación), y lo exponga públicamente, antes de presentar su examen de grado, en el Coloquio de Estudiantes del Posgrado. Este seminario será evaluado y calificado por el comité tutor.



