

Criterio 1. Plan de estudios

Documento completo del Plan de Estudios

1. Plan de estudios

En septiembre de 1990 inicia el programa de Maestría en Ciencias con la especialidad de Física Aplicada. Hacia finales de 1992 se graduaron los primeros estudiantes del programa. En 2001, el posgrado del Departamento de Física Aplicada, con la aprobación de la Junta Directiva del Cinvestav, amplió los programas de maestría y doctorado agregando la especialidad de Fisicoquímica y en septiembre de 2003 se abre esta opción terminal en el programa de maestría con una estudiante inscrita. El programa de Doctorado en Ciencias con las especialidades de Física Aplicada y Física Teórica inicia en septiembre de 1993 y la especialidad de Fisicoquímica inicia en 2010, para ofrecer la oportunidad a nuestros egresados del programa de maestría en Fisicoquímica, de continuar sus estudios en nuestro Departamento y para atender la demanda existente. Es importante mencionar, que nuestro programa de posgrado es el único programa en las áreas de Física y Fisicoquímica en el sureste del país.

El plan de estudios del programa de maestría tiene una duración de dos años, y está organizado en 4 semestres, de 6 meses cada uno. En general, nuestro programa de maestría se enfoca en proveer al estudiante una base firme de conocimientos fundamentales en física aplicada y fisicoquímica, que se refleja en un número de cursos obligatorios y su contenido.

Los primeros dos semestres consisten de 6 cursos obligatorios en las dos opciones terminales, seguido por 2 más en el tercer semestre en Fisicoquímica y 3 más en Física Aplicada. Además, en el primer semestre, los estudiantes participan en el curso obligatorio Seminario, que consiste en presentación de seminarios y visitas a laboratorios. Los investigadores del Departamento imparten seminarios en los que presentan sus líneas de investigación. El curso se concentra en el mes de febrero, para que los estudiantes tengan toda esta la información de manera condensada. En el segundo semestre, en agosto, los estudiantes toman un curso Electivo I, en el cuál los estudiantes deben elegir entre: (i) Laboratorio Experimental, y (ii) Métodos Computacionales. Con los cursos Seminario y Electivo I, los estudiantes se preparan para la fase del plan de estudios en la cual la investigación se convierte en la parte principal de sus actividades.

En la especialidad de Fisicoquímica, en el tercer semestre, tenemos dos cursos fundamentales obligatorios y una materia dedicada ya a la investigación. Esto implica que al inicio del tercer semestre, cada estudiante elige, basado en sus experiencias de los primeros dos semestres y con todo lo aprendido en los cursos Seminario y Electivo I, su tema de investigación y su director de tesis. En la especialidad de Física Aplicada, en el tercer semestre, tenemos tres cursos fundamentales obligatorios y el trabajo de investigación inicia con el cuarto semestre. Sin embargo, uno de los cursos de tercer semestre, Electivo II, permite a los estudiantes elegir entre Electrodinámica II y Física de Estado Sólido, brindándoles la oportunidad de dirigirse hacia sus temas de interés. Antes de iniciar el cuarto semestre, cada estudiante elige su tema de investigación y su director de tesis. Es muy importante resaltar que los estudiantes pueden elegir, como director de tesis, a cualquiera de los investigadores del Departamento, independientemente

de la especialidad en la cual estén inscritos. El programa para el cuarto semestre, en las dos especialidades, está dedicado a la investigación y a cursar una materia optativa que generalmente está centrada en el tema de investigación elegido. Durante este cuarto semestre, se da la posibilidad de realizar estancias de investigación nacionales o internacionales y participar en congresos.

1.1 Justificación del Programa

Nuestro programa es el único programa de posgrado en las áreas de física y fisicoquímica que se ofrece en el sureste del país, lo cual señala su importancia, dada la necesidad global de profesionales de alto nivel, especialistas en las llamadas ciencias duras, tanto para apoyar a las universidades e institutos, como para incidir en el ámbito industrial, ecológico y social. Nuestro programa ha crecido significativamente desde su apertura y ha cumplido con esta función, por ejemplo, las siguientes instituciones y universidades regionales han integrado a su planta de docentes y/o investigadores a profesionales egresados de nuestra maestría: Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Tecnológico de Mérida, Instituto Tecnológico Superior de Progreso, Instituto Tecnológico de Conkal, Universidad Autónoma de Quintana Roo, Instituto Tecnológico de Cancún, Universidad Autónoma de Chiapas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma del Carmen, Universidad Marista Universidad del Mayab. Aunado a esto, nuestro departamento ha incidido de manera positiva sobre las instituciones de enseñanza e investigación a través de la presencia y colaboración de nuestros profesores y estudiantes en cursos, conferencias, estructuración de planes de estudio, colaboraciones en proyectos de investigación, etc.. Cabe señalar que de los 94 egresados de nuestro programa de maestría que laboran como profesores y/o investigadores en instituciones mexicanas, la mayoría de ellos también son egresados de nuestro programa de doctorado. Los egresados de nuestra maestría también tienen presencia internacional, laborando como profesores o técnicos de alto nivel en algunas instituciones internacionales: 10

El programa de Maestría en Ciencias con especialidades en Física Aplicada y Fisicoquímica es la opción regional más importante para egresados de licenciaturas o ingenierías afines, interesados en seguir desarrollándose académicamente. Los egresados del programa de maestría tienen la oportunidad de continuar en nuestro posgrado para obtener un Doctorado en Ciencias, con especialidades en Física Teórica, Física Aplicada o Fisicoquímica. Nuestro posgrado, con los dos programas catalogados como Programas de Competencia Internacional, brinda una oportunidad única a los estudiantes de la región, de recibir una formación científica del más alto nivel.

1.2 Objetivos

El objetivo de nuestro programa es la formación de profesionales de alto nivel en Física Aplicada y Fisicoquímica, a través de un plan de estudios con cursos fundamentales, cursos especializados y una experiencia introductoria en investigación a través de la elaboración de una tesis. La principal finalidad de nuestro programa de maestría es la preparación inicial de investigadores con conocimientos básicos firmes en las áreas de física y fisicoquímica, que habrán de continuar formándose como investigadores en un programa de doctorado. Dada la posibilidad de que

nuestros egresados no continúen en un programa de doctorado, el objetivo del programa para estos casos es que sus estudiantes construyan una base firme de conocimientos fundamentales que les capacite para ejercer como docentes de alto nivel en instituciones de educación superior o para realizar aportaciones en la resolución de problemas de índole científico o tecnológico, en instituciones del sector público o privado.

El alcance de nuestras metas y objetivos se refleja en el alto porcentaje de egresados de nuestro programa de maestría que son admitidos y concluyen con éxito un programa de doctorado en ciencias de alto nivel, y en el número de egresados que laboran como docentes en instituciones de educación superior.

1.3 Perfil de Ingreso

Los estudiantes admitidos a nuestro programa de maestría: 1) han obtenido ya el grado de Licenciatura en Física, Licenciatura en Química, o Licenciatura en áreas afines, como ingeniería física, química industrial, ingeniería mecánica, etc.; 2) son capaces de demostrar, a través de los exámenes de admisión, que cuentan con una base de conocimientos indispensables para poder acceder a los cursos de nivel de posgrado.; 3) son capaces de leer y entender libros de texto y artículos científicos escritos en inglés.

Se espera de los aspirantes a ingresar a nuestro posgrado, que posean una inclinación hacia la ciencia, curiosidad ante los fenómenos naturales y disposición para desarrollar su creatividad e intuición científica.

En la Tabla 1 se indican las materias que se evalúan en los exámenes de admisión. Una alternativa a presentar y aprobar los exámenes de admisión, es aprobar los cursos propedéuticos, que ofrece el Departamento durante el periodo de marzo a junio de cada año. En los documentos correspondientes al Criterio 3.1 se incluyen los temarios de estos cursos, que son los mismos que se consideran para los exámenes de admisión.

Tabla 1: Materias que se evalúan en los exámenes de admisión y que se imparten como cursos propedéuticos

Física Aplicada	Fisicoquímica
Física Matemática	Matemáticas
Termodinámica	Fisicoquímica
Mecánica Clásica	Física General
Electromagnetismo	Química General

1.4 Perfil de Egreso

Los egresados de nuestro programa de maestría han adquirido una experiencia introductoria en la investigación científica o tecnológica, que conlleva la especialización en un área de interés y el

aprendizaje de metodologías de investigación, de búsquedas bibliográficas, de técnicas de laboratorio y/o técnicas computacionales, etc., y saben reportar por escrito y defender un trabajo de investigación. Los egresados con la especialidad de Física Aplicada han adquirido una formación sólida en las siguientes áreas fundamentales de física: mecánica clásica, mecánica cuántica, electrodinámica y física estadística, y son capaces de usar las herramientas matemáticas que la física avanzada demanda. Los egresados con la especialidad de Fisicoquímica han adquirido una formación sólida en las siguientes áreas fundamentales de la fisicoquímica: química inorgánica, fisicoquímica, química cuántica y termodinámica clásica y estadística.

Los egresados de nuestro programa de maestría están preparados para continuar su formación científica en un programa de doctorado en las áreas de física o fisicoquímica. Por la formación básica que adquieren, nuestros egresados tienen amplias opciones para continuar su formación científica, tanto en nuestro programa de doctorado como en programas de otros departamentos y/o instituciones, tanto nacionales como internacionales. Los egresados del programa de maestría están preparados para participar en grupos de investigación, teniendo la capacidad de hacer aportaciones importantes en las áreas científicas y tecnológicas. Nuestros egresados han adquirido consciencia sobre los aspectos éticos de la ciencia. Los egresados de nuestro programa de maestría, por su formación, son capaces de integrarse a la planta docente de instituciones de educación superior impartiendo cursos de importancia fundamental.

1.5 Mapa curricular

En la especialidad de Física Aplicada, el plan de estudios contiene 9 cursos básicos de 60 horas/clase, 7 cursos corresponden a materias fundamentales de física y 2 a métodos matemáticos. En la especialidad de Fisicoquímica, el plan de estudios contiene 8 cursos básicos de 60 horas/clase, 6 cursos corresponden a materias fundamentales de fisicoquímica, y 2 a métodos matemáticos. 3 de estos cursos se toman en cada uno de los 2 primeros semestres y el resto durante el tercer semestre. primeros dos semestres. El curso Seminario se toma durante la fase final del primer semestre y el curso Electivo I (Laboratorio Experimental o Métodos Computacionales) durante la fase final del segundo semestre. El curso Electivo II corresponde a Electrodinámica II o Física del Estado Sólido, según sea el interés de cada estudiante. La elección del tema de investigación y el director de tesis se realiza antes de iniciar el tercer o cuarto semestre, de acuerdo a la especialidad. El cuarto semestre está dedicado a la investigación apoyada por un curso optativo especializado en el tema de investigación. Todos los estudiantes tienen la libertad de elegir como director de tesis a cualquier investigador del Departamento.

En la Tabla 2, se muestra el plan de estudios, especificando el nombre de las materias que se toman durante cada semestre. Los temarios de los cursos obligatorios y una lista de los cursos optativos que se han impartido en el programa de maestría, se añaden en los Apéndices 1 y 2, respectivamente, al final de este documento.

Tabla 2: Plan de estudios del programa de Maestría en Ciencias

Opción terminal Semestre	Física Aplicada	Fisicoquímica
1 sep - feb	- Mecánica Clásica - Física Moderna - Métodos Matemáticos I - Seminario (30 hrs)	- Fisicoquímica I - Química Inorgánica - Métodos Matemáticos I - Seminario (30 hrs)
2 mar - ago	- Electrodinámica I - Mecánica Cuántica I - Métodos Matemáticos II - Electivo I * (30 hrs)	- Fisicoquímica II - Química Cuántica - Métodos Matemáticos II - Electivo I * (30 hrs)
3 sep - feb	- Física Estadística - Mecánica Cuántica II - Electivo II *	- Termodinámica Estadística - Química del Estado Sólido - Investigación Tesis I
4 mar - ago	- Optativo - Investigación Tesis	- Optativo - Investigación Tesis II

* Electivo I: Laboratorio experimental o Métodos computacionales.

* Electivo II: Electrodinámica II o Física del Estado Sólido.

1.6 Actualización del Plan de Estudios

El Colegio de Profesores está formado por los profesores adscritos al Departamento de Física Aplicada del Cinvestav, que son los mismos que conforman el núcleo académico básico del programa; el Colegio es la autoridad más alta del programa de maestría. El programa de estudios es revisado de manera continua, por los profesores que imparten los cursos: en caso de requerir ajustes o cambios importantes, el Colegio nombra a una comisión, que analiza los casos y reporta resultados al Colegio. En el caso de que se decida realizar cambios importantes, el Colegio solicita autorización, exponiendo las necesarias justificaciones ante la Secretaría Académica de Cinvestav. El caso se analiza por el Consejo Académico Consultivo del Centro y si la propuesta de cambios es aceptada, la Dirección General presenta una solicitud final de aprobación a la Junta Directiva del Cinvestav.

Modificaciones al plan de estudio

En 2012, se realizó la última actualización al plan de estudios, incorporando las siguientes modificaciones que eliminan un curso en cada especialidad: (i) El plan de 4 semestres, en cual el

primer y tercer semestre tenían una duración de 5 meses, y el segundo y cuarto semestre de 7 meses, cambió a un plan de 4 semestres de 6 meses (a partir de sep. 2012). (ii) El curso de Laboratorio de Verano, de 60 horas/clase, se dividió en dos cursos de 30 horas/clase cada uno: Seminario y Electivo I. Seminario se cursa en febrero, al final del primer semestre; Electivo I se cursa en agosto, al final del segundo semestre. Electivo I ofrece dos opciones: Laboratorio experimental ó Métodos computacionales. (iii) En la especialidad de Física Aplicada, las materias de Electrodinámica II y Física del Estado Sólido dejan de ser obligatorias y se convierten en opcionales; solamente una de ellas se debe cursar, definiendo así el contenido de Electivo II. (iv) En la especialidad de Fisicoquímica, el curso de Química del Estado Sólido se cambia del cuarto al tercer semestre y se elimina un curso optativo. (v) En ambas especialidades, el cuarto semestre se dedica exclusivamente a la investigación, apoyada por un curso relacionado con el tema de trabajo. El cuarto semestre permite movilidad.

1.7 Opciones de graduación

La única opción para la graduación es el examen de grado en el que se presenta y se defiende una tesis. En la etapa final de sus estudios de maestría, cada estudiante deberá escribir una tesis basada en su trabajo de investigación y defenderla ante un jurado integrado por un mínimo de tres investigadores, de los cuales al menos dos han de pertenecer al Departamento. Los miembros del jurado fungen también como revisores del contenido y presentación del texto escrito y se requiere su aprobación para dar trámite al examen de grado en el que se defiende la tesis. Durante el examen de grado, que es público, el estudiante realiza una presentación de su tesis de aproximadamente 45 minutos, al término de la presentación se permite al público asistente hacer preguntas. Finalmente los sinodales cuestionan al estudiante sobre su tesis y el estudiante defiende su trabajo. Al finalizar el examen, los sinodales deliberan de manera privada para decidir si el examen ha sido satisfactorio. Por último, y solamente si el estudiante ha aprobado el examen, se firman las actas correspondientes del examen.

La escritura de una tesis de maestría brinda a los estudiantes la experiencia de generar un documento completo, enfocándose en todos los detalles que implican un trabajo de investigación. En el examen de grado indica q presentar su trabajo frente a especialistas en el tema y frente a un público general, discutiendo a diferentes niveles de complejidad el tema de investigación.

1.8 Idioma

Los estudiantes requieren la habilidad de leer textos científicos, escribir reportes y publicaciones de su investigación, y presentar su trabajo en congresos internacionales en inglés. Para apoyar este requerimiento se ofrecen cursos de idioma inglés en la Unidad Mérida impartido diariamente por la profesora Lynn Roberts, nativa de lengua inglesa. Este sistema ha redundado en un mejoramiento significativo en el nivel del idioma inglés de los estudiantes de nuestro programa de posgrado, que se ha visto valorado en la participación en congresos internacionales, interacción con visitantes de otros países, y en sus estancias en el extranjero.

APÉNDICES

APÉNDICE 1: Temarios de los cursos del programa de maestría en ciencias

APÉNDICE 2: Listado de cursos optativos registrados

DEPARTAMENTO DE FISICA APLICADA
CINVESTAV-IPN-Unidad Mérida

**Maestría en Ciencias con especialidades en
Física Aplicada y Fisicoquímica**

P R O G R A M A

MAESTRIA (2 años - fecha de inicio: 1 septiembre)

Especialidad en Física Aplicada

Primer semestre:

Mecánica Clásica
Física Moderna
Métodos Matemáticos I
Seminario

Segundo semestre:

Electrodinámica I
Mecánica Cuántica I
Métodos Matemáticos II
Electivo I

Tercer semestre:

Mecánica Cuántica II
Física Estadística
Electivo II

Cuarto semestre:

Curso Optativo
Investigación (tesis)

MECANICA CLÁSICA

1. **Principios Básicos:** Leyes de Newton y leyes de conservación.
2. **Sistemas de partículas:** Ecuaciones de movimiento de un sistema de partículas. Movimiento del centro de masas. Momentum lineal y angular total. Energía total.
3. **Fuerzas centrales:** Leyes de conservación. Potencial efectivo. El problema de dos cuerpos con un potencial central. Movimiento planetario y leyes de Kepler.
4. **Dispersión:** Colisiones elásticas e inelásticas. Cinemática de colisiones elásticas entre dos cuerpos. Orbitas hiperbólicas en los potenciales gravitacional y coulombiano. Orbitas de dispersión en general. Sección de dispersión. Dispersión de Rutherford. Dispersión por una esfera dura.
5. **Movimiento en sistema de coordenadas acelerado:** Las leyes de Newton en un sistema acelerado. Movimiento sobre la superficie de la tierra; caída libre y movimiento horizontal. Péndulo de Foucault.
6. **Dinámica Lagrangiana:** Restricciones. Coordenadas generalizadas. Desplazamientos virtuales. Principio de D'Alembert. Ecuaciones de Lagrange. Ejemplos ilustrativos.
7. **Principio de mínima acción de Hamilton:** Deducción de las Ecs. de Lagrange a partir del principio de Hamilton. Leyes de conservación. Momento generalizado y Ecuaciones de Hamilton. Ejemplos ilustrativos.
8. **Oscilaciones pequeñas:** Péndulos acoplados. Modos normales y coordenadas normales. Moléculas lineales simétricas. Problemas con muchos grados de libertad. Molécula triatómica lineal. Cadenas lineales de átomos.
9. **Movimiento de cuerpos rígidos:** Grados de libertad de un cuerpo rígido. Ángulos de Euler. Energía cinética y momento angular de un cuerpo rígido. Tensor de inercia y ejes principales. Ecuaciones de Euler. Movimiento libre de un trompo simétrico. Movimiento libre de un trompo asimétrico. Trompo simétrico con un punto fijo en un campo gravitacional. Ecuaciones de movimiento. Potencial efectivo. Pequeñas oscilaciones alrededor del movimiento estacionario.
10. **Teoría de Hamilton-Jacobi:** Transformaciones canónicas. Funciones que generan transformaciones canónicas. Ecuación de Hamilton-Jacobi. Variables ángulo-acción. Corchetes de Poisson. La ec. de Hamilton-Jacobi como un límite geométrico de la ec. de Schroedinger. El teorema de Liouville.

Bibliografía:

- A.L. Fetter and J.D. Walecka, *Theoretical Mechanics of Particles and Continua* (McGraw-Hill Book Company, NY, 1980).
- H. Goldstein, *Classical Mechanics* (Addison Wesley, 1993)
- L.D. Landau and E.M. Lifshitz, *Mechanics* (Addison Wesley, 1970)

FÍSICA MODERNA

- 1. Introducción a la teoría especial de la relatividad:** Antecedentes experimentales. Cinemática relativista. Dinámica relativista. Relatividad y electromagnetismo.
- 2. Radiación del cuerpo negro y concepto del cuanto:** Emisión de radiación electromagnética por cargas aceleradas. Emisión y absorción de radiación por superficies. Radiación de cuerpo negro. Teoría de Planck.
- 3. Mecánica ondulatoria y concepto de onda-partícula:** Postulado de De Broglie. Regla de cuantización de Bohr. Principio de incertidumbre.
- 4. Ecuación de Schrödinger:** Interpretación de la función de onda. Ec. de Schrödinger independiente del tiempo. Cuantización de la energía en la teoría de Schrödinger. Valores esperados y operadores diferenciales. Partícula libre.
- 5. Problemas unidimensionales de Mecánica Cuántica:** Potencial escalón. Barreras de potencial. Potencial pozo cuadrado. Potencial cuadrado infinito. Oscilador armónico simple.
- 6. El átomo de hidrógeno:** Ec. de Schrödinger en tres dimensiones. El átomo con un electrón. Separación y solución de la ecuación para el átomo de hidrógeno. Números cuánticos. Valores propios y degeneración. Funciones propias y densidades de probabilidad. Momento angular. Funciones propias del átomo con un electrón.

Bibliografía:

- R. Resnick, *Introducción a la Teoría Especial de la Relatividad* (Limusa, México, 1997).
- R.M. Eisberg, *Fundamentos de Física Moderna* (Limusa, México, 1992)
- D.S. Saxon, *Elementos de Mecánica Cuántica* (Ed. EASO, México, 1970)

METODOS MATEMATICOS I

- 1. Funciones analíticas:** Funciones analíticas, Ecuaciones de Cauchy-Riemann, Funciones armónicas, Funciones analíticas elementales (funciones trigonométricas e hiperbólicas), Funciones multi-valuadas y superficies de Riemann, Mapeo conforme, Ejemplos ilustrativos de mapeos de funciones elementales.
- 2. Integración compleja:** Integración en el plano complejo, Propiedades básicas de las integrales de línea complejas, Regiones y sus condiciones de contorno en el plano complejo, Teorema de Cauchy, Teorema de Cauchy para regiones múltiplemente conexas, Aplicaciones en electrostática bidimensional, Corolarios del teorema de Cauchy, Formula integral de Cauchy, Series infinitas de números complejos, Pruebas de convergencia, Teorema de Taylor, Funciones enteras, Teorema de Laurent, Singularidades de funciones analíticas, Ceros de una función analítica, Funciones meromórficas, Ceros y polos de funciones meromórficas, Teorema fundamental del álgebra.
- 3. Cálculo de residuos:** El residuo en una singularidad, Cálculo de residuos, El teorema del residuo, Evaluación de integrales, Sumas de series infinitas, Expansiones de fracciones parciales, El método del paso descendiente, Representación integral de funciones especiales, Expansión asintótica de funciones de Bessel por el método del paso descendiente.
- 4. Soluciones en serie de ecuaciones diferenciales de segundo orden:** Puntos singulares y ordinarios de ecuaciones diferenciales, Solución cerca de un punto ordinario, Ejemplos ilustrativos, Solución alrededor de un punto singular regular, El método de Frobenius, Ejemplos ilustrativos.

Bibliografía:

- G. Arfken, *Mathematical Methods for Physicists* (Academic Press, NY, 1985)
- E. Butkov, *Mathematical Physics* (Addison Wesley, 1968)

SEMINARIO

El curso consiste de tres partes: (i) Seminarios Departamentales, impartidos por los investigadores del Departamento, para informar a los estudiantes de maestría de sus líneas de investigación; (ii) visitas a laboratorios de los investigadores y los laboratorios centrales de la Unidad (Laboratorio de Nano y Biomateriales, etc.); (iii) un curso teórico sobre los fundamentos de experimentos y la interpretación de resultados en terminos de estadística.

El curso se imparte en el mes de febrero, y es obligatorio para los estudiantes del primer semestre; se lleva un control de asistencia. Los seminarios están abiertos a todos a quien interese asistir. Esta asignatura es cursada por los estudiantes del primer semestre en el programa de maestría, de las dos especialidades, Física Aplicada y Fisicoquímica.

MECÁNICA CUÁNTICA I

- 1. Revisión de radiación de cuerpo negro e Hipótesis de Planck:** El efecto fotoeléctrico. Naturaleza ondulatoria de la materia: difracción de electrones. El átomo de Bohr. Longitud de onda de Broglie.
- 2. Paquetes de onda y partícula libre:** Relaciones de incertidumbre. La ecuación de Schroedinger y su justificación. Interpretación probabilística de la función de onda y la conservación de probabilidad. Valores esperados de variables dinámicas.
- 3. Problemas en una dimensión:** Oscilador armónico. Barreras y pozos de potencial. Potencial de dos mínimos como modelo de una molécula. Potenciales periódicos (modelo de Kronig-Penney).
- 4. La aproximación WKB:** Aplicaciones a estados ligados, tunelamiento a través de barreras de potencial y decaimiento alfa.
- 5. Notación de Dirac:** Espectros continuos y discretos. Conmutación de operadores y mediciones simultáneas.
- 6. Problemas en tres dimensiones:** Partícula libre en una caja rígida. Partícula libre dentro de una esfera rígida. El problema de eigenvalores para el cuadrado del momento angular y la componente-z del momento angular. El átomo de hidrógeno.
- 7. Dispersión:** Ecuación integral de dispersión. Función de Green. Aproximación de Born. Análisis de los corrimientos de fases. Corrimientos de fase y resonancias.
- 8. El espín.** Experimento de Stern-Gehrlach. Matrices de espín de Pauli. Rotaciones y SU(2). Matriz de densidad. Polarización y dispersión. Acoplamiento espín-momento angular orbital.

Bibliografía:

- E. Merzbacher, *Quantum Mechanics* (John Wiley & Sons, 1970).
- L.I. Schiff, *Quantum Mechanics* (Mc.Graw-Hill, 1968).
- G. Baym, *Lectures on Quantum Mechanics* (Addison-Weley, 1967).
- Luis de la Peña, *Introducción a la Mecánica Cuántica* (Fondo de Cultura Económica, México, 1991).

ELECTRODINÁMICA I

1. **Electrostática:** Leyes de Coulomb y Gauss. Potencial electrostático. Ecs. de Poisson y Laplace. Distribuciones de carga con simetría esférica. Conductores y aislantes. Función delta de Dirac. Soluciones de Green para la ec. de Laplace. Multipolos lineales. Expansión multipolar.
2. **Ecuación de Laplace y condiciones de contorno:** Condiciones de frontera. Método de imágenes y función de Green. Separación de variables en coordenadas cartesianas. Coordenadas esféricas y polinomios de Legendre. Coordenadas cilíndricas y funciones de Bessel. Soluciones especiales en dos dimensiones.
3. **Electrostática de dieléctricos:** Dieléctricos y conductores. Potencial de polarización y vector desplazamiento. Condiciones de frontera y soluciones de la ec. de Laplace. Polarizabilidad molecular y modelos de polarizabilidad.
4. **Energía del campo electrostático:** Energía para cargas puntuales y distribuciones de carga. Energía del campo eléctrico. Capacidad e inducción. Energía en dieléctricos. Teorema de Thompson. Cambios de energía; fuerzas sobre cargas o potencial fijos.
5. **Magnetostática:** Ley de Biot-Savart. Fuerzas y torques sobre un circuito. Ley de Ampere. Ecuaciones estáticas de Maxwell. Potencial vectorial; potencial de una distribución localizada de corriente.
6. **Magnetismo en materiales:** Magnetización y potencial vectorial asociado. Campo magnético e inducción magnética. Condiciones de contorno. Diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo. Ferromagnetos: potencial escalar y densidades "monopolares".
7. **Ecuaciones de Maxwell:** Ley de Faraday; inducción electromagnética. Energía en campos magnéticos; coeficientes de inducción. Corriente de desplazamiento; ecs. dinámicas de Maxwell. Potenciales y normas. Función de Green para la ec. de onda. Energía y momentum: vector de Poynting. Monopolos magnéticos y cuantización de la carga eléctrica.
8. **Ondas electromagnéticas planas:** Ecuación de onda. Ondas planas monocromáticas. Polarización. Flujos de energía y momentum. Reflección y refracción en interfases dieléctricas: ecs. de Fresnel. Ondas en conductores.
9. **Guías de onda y cavidades resonantes:** Ecuación de onda en guías: modos TE y TM. Modos TEM. Cavidades resonantes.

Bibliografía:

- J.D. Jackson, *Classical Electrodynamics* (Segunda ed., John Wiley & Sons, NY, 1975)
- W.H.K. Panofsky and M. Phillips, *Classical Electricity and Magnetism* (Segunda ed., Addison-Wesley, NY, 1962)
- L. Eyges, *The Classical Electromagnetic Field* (Dover, NY, 1972)

METODOS MATEMATICOS II

- 1. Polinomios ortogonales, el problema de Sturm-Liouville y mecánica cuántica:** La cuerda continua como un caso límite de N-osciladores acoplados, El espacio de funciones cuadráticamente integrables, Ortogonalidad con respecto a una función de peso, Operadores lineales, Operadores diferenciales de segundo orden auto-adjuntos, Aplicaciones en mecánica cuántica, Relación entre la mecánica ondulatoria de Schroedinger y la mecánica matricial de Heisenberg.
- 2. Ecuaciones diferenciales parciales y funciones especiales:** Ecuación de Helmholtz bidimensional, Funciones de Neumann y Bessel, Relaciones de recurrencia, Funciones de Bessel como un conjunto ortogonal, Membrana rectangular, Membrana circular, Ecuación de Helmholtz tridimensional, Ecuación de Laplace, Polinomios de Legendre, Polinomios de Legendre asociados y armónicos esféricos, Propiedades adicionales de las funciones de Bessel, Solución de la ec. de Helmholtz en coordenadas polares esféricas, Funciones de Bessel esféricas.
- 3. Funciones de Green:** Función de Green para el operador de Sturm-Liouville, Simetría de las funciones de Green, Construcción de la función de Green por el método de expansión de funciones, Función de Green para operadores diferenciales parciales, Método de expansión de eigenfunciones, Ejemplos ilustrativos, Función de Green para la ec. de Schroedinger, Ecuación de conducción de calor y la ecuación de onda no-homogénea.
- 4. Métodos aproximados:** Aproximando eigenvalores por el método de variaciones, Cálculo del eigenvalor del estado base, Teoría de perturbaciones para espectros discretos, Teoría de perturbaciones para eigenvalores degenerados, Teoría de perturbaciones para espectros continuos.

Bibliografía:

- G. Arfken, *Mathematical Methods for Physicists* (Academic Press, NY, 1985)
- E. Butkov, *Mathematical Physics* (Addison Wesley, 1968)

ELECTIVO I

En este curso, el estudiante puede elegir entre dos opciones mayores: (i) Laboratorio; (ii) Métodos computacionales. Este curso es llevado por los estudiantes del primer semestre en el programa de maestría, de las dos especialidades, Física Aplicada y Fisicoquímica, y se lleva a cabo en el mes de agosto, de tiempo completo.

En el curso de Laboratorio, a los estudiantes se les imparten los fundamentos y aplicaciones del manejo de datos, y procesamiento estadístico de resultados experimentales. Posteriormente los estudiantes escogen un proyecto de un conjunto de proyectos previamente planteados por los investigadores del departamento. Este proyecto se debe llevar a cabo durante alrededor de 3 semanas. El objetivo del curso es que el estudiante realice un proyecto usando las instalaciones del Departamento, aprendiendo las bases de la investigación y método científico aplicado a un proyecto específico.

En el curso Métodos computacionales, los estudiantes reciben un curso sobre métodos teóricos y computacionales usado en una variedad de temas, incluyendo el cálculo de estadísticas de sistemas complejos, propiedades opto-electrónicas de materiales, nanomateriales, cúmulos, y moléculas, además de métodos computacionales para estudiar la física de alta energía.

FÍSICA ESTADÍSTICA

1. **Mecánica estadística clásica:** Espacio fase, El concepto de ensamble estadístico, Densidad del ensamble, Promedios temporales y promedios sobre el ensamble, Hipótesis de igualdad de probabilidades a priori, Ensamble microcanónico, El concepto de equilibrio, El equilibrio según Boltzmann y Gibbs, Entropía, Variables termodinámicas intensivas y extensivas, Invariancia adiabática de la entropía, Procesos reversibles e irreversibles, Entropía de un gas ideal en el ensamble microcanónico, Paradoja de Gibbs. Cuantización del espacio fase, Sistema en interacción con un reservorio caliente (Ensamble canónico), Gas ideal, Valores promedios y más probable, Equipartición de la energía, condiciones de equilibrio para un sistema en contacto con un reservorio caliente, Contacto difusivo y el ensamble gran canónico, Gas ideal, Fluctuaciones. Condiciones de estabilidad para un sistema en contacto con un reservorio a temperatura y presión constantes.
2. **Mecánica estadística cuántica:** Función de onda de un sistema de N partículas idénticas, Simetría y antisimetría ante el intercambio de coordenadas, Estadísticas de Fermi y Bose, Gases ideales, Correlaciones en gases ideales cuánticos, Matriz de densidad, Ensamblajes en estadísticas cuánticas, Distribución canónica, Función de partición, Límite clásico, Entropía, Gas de Boltzmann con grados de libertad internos, Distribución gran canónica.
3. **Gases ideales con grados de libertad internos:** Moléculas diatómicas, Niveles electrónicos, Niveles vibracionales y rotacionales, Función de partición de una molécula diatómica, Propiedades termodinámicas de gases con grados de libertad internos, Moléculas diatómicas compuestas de átomos idénticos y su función de partición
4. **Gases ideales cuánticos:** El Gas ideal en el ensamble gran canónico, Función de partición gran canónica, distribución Fermi-Dirac, Entropía de un gas de Fermi ideal, Gas de Bose ideal, Gases de Fermi y Bose de partículas con grados de libertad internos y su ecuación de estado, Gases de Fermi y Bose degenerados, Aplicaciones.
5. **Gases reales y Transiciones de fase.** Expansión de Mayer, expansión del virial, Transiciones fase, Modelo de Ising, Aplicaciones.

Bibliografía:

- K. Huang, *Statistical Mechanics* (John Wiley, NY, 1980).
- F. Reif, *Statistical and Thermal Physics* (McGraw-Hill, NY, 1980).
- W. Greiner, L. Neise and H. Stöcker, *Thermodynamics and statistical mechanics* (Springer, 1997).

MECÁNICA CUÁNTICA II

1. **Métodos aproximados I:** El método variacional para la determinación de la energía del estado base. Aplicación al cálculo de la interacción de Van der Waals y a estados excitados.
2. **Métodos aproximados II:** Teoría de perturbaciones independiente del tiempo (i) caso no degenerado: corrección a primer orden, efecto isotópico del estado base en el átomo de hidrógeno. Teoría de perturbaciones de segundo orden. Efecto Stark cuadrático, (ii) teoría de perturbaciones para estados degenerados, efecto Stark lineal.
3. **Formalismos de Schroedinger, Heisenberg y de interacción:** Teoría de perturbaciones dependiente del tiempo. Teoría de perturbaciones de primer orden. Perturbaciones armónicas. Probabilidad de transición. Regla de oro de Fermi. Transiciones de segundo orden. Aproximaciones adiabática y repentina.
4. **Rotaciones y operaciones tensoriales:** Adición de momentos angulares. Coeficientes de Clebsch-Gordon. Teorema de Wigner-Eckart. Elementos de matriz de operadores vectoriales. Paridad e inversión temporal.
5. **Partículas idénticas:** Funciones de onda simétrica y antisimétrica. Principio de exclusión de Pauli. Determinante de Slater. Colisiones de partículas idénticas. Oscilador armónico. Segunda cuantización. Operadores de creación y aniquilación. Estadísticas de Bose y de Fermi. Espacio de Hilbert de un sistema de partículas idénticas. Operadores en segunda cuantización.
6. **Átomos:** Aproximación del campo central (aproximación de Hartree). Aproximación de Thomas-Fermi. Ecuaciones de Hartree-Fock. La tabla periódica. Correcciones a la aproximación del campo central. Interacción espín-órbita. Acoplamiento LS. Acoplamiento JJ. Átomos alcalinos. Efectos Zeeman y Paschen-Beck. Átomos con dos electrones.
7. **Átomo en un campo de radiación:** Hamiltoniano de interacción. Absorción de luz. Transición dipolar eléctrica. Efecto fotoeléctrico.
8. **Moléculas:** Aproximación de Born-Oppenheimer. Cálculo variacional de la energía de enlace de hidrógeno molecular. Solución aproximada por el método de Heitler-London para la molécula de hidrógeno.

Bibliografía:

- E. Merzbacher, *Quantum Mechanics* (John Wiley & Sons, 1970).
- L.I. Schiff, *Quantum Mechanics* (Mc.Graw-Hill, 1968).
- G. Baym, *Lectures on Quantum Mechanics* (Addison-Wesley, 1967).
- Luis de la Peña, *Introducción a la Mecánica Cuántica* (Fondo de Cultura Económica, México, 1991).

ELECTRODINÁMICA II

1. **Dispersión I:** Dependencia de las ecs. constitutivas en tiempo y frecuencia. Convolución. Modelos de dispersión: gases, sólidos, conductores. Causalidad y ecs. de Kramers-Kronig. Causalidad en la transmisión de señales.
2. **Radiación en sistemas simples:** Potenciales retardados y radiación. Representación espectral. Zonas cercana y lejana. Radiación dipolar eléctrica. Potencia radiada por el dipolo. Representación temporal de los campos de radiación. Radiación dipolar magnética y cuadrupolar eléctrica. Potencia radiada; representación temporal (dipolo magnético y cuadrupolo eléctrico). Antenas.
3. **Dispersión II:** Dispersión debida a una carga libre. Dispersión debida a una carga ligada armónicamente. Múltiples dispersores: coherencia e incoherencia. Dispersión desde el continuo. Dispersión fluctuaciones en la densidad.
4. **Relatividad especial:** Relatividad galileana. Éter y movimiento en el éter: experimento de Michelson y Morley. Relatividad especial: transformadas de Lorentz. Espacio de Minkowski y cuadvectores. Dinámica: cuadvector de energía y momentum. Trabajos y fuerzas. Leyes de conservación y colisiones.
5. **Descripción covariante de la electrodinámica:** Conservación de la carga. Potenciales y ecuaciones de onda: norma de Lorentz. Ecuaciones de Maxwell en notación covariante. Ecuaciones de fuerzas de Lorentz. Transformaciones de los campos.
6. **Versión Lagrangiana de la dinámica de partículas y campos:** Lagrangiano de la partícula libre. Partícula en presencia de campos electromagnéticos. Correcciones relativistas: lagrangiano de Darwin. Lagrangiano y Hamiltoniano del campo electromagnético.
7. **Radiación de cargas en movimiento:** Potenciales de Lienard-Wiechert. Campos Asociados. Reducción al caso no acelerado. Campos de bajas velocidades y potencia emitida. Potencia emitida a altas velocidades. Aceleración paralela a la velocidad: pérdidas de energía en aceleradores lineales. Aceleración perpendicular a la velocidad: radiación ciclotrónica. Movimiento arbitrario a alta velocidad. Descomposición espectral de la radiación. Distribución de frecuencias para radiación ciclotrónica.
8. **Radiación de frenado (Bremsstrahlung):** Frenado lineal. Espectro a bajas frecuencias. Descripción cualitativa de frecuencias medias. Colisión elástica carga-núcleo. Método de Weizsäcker-Williams: fotones virtuales. Radiación de Cerekov.
9. **Frenado por radiación:** Fuerza de reacción de radiación. Frenado por radiación y autocampo. Versión relativista de la fuerza de reacción de radiación.

Bibliografía:

- J.D. Jackson, *Classical Electrodynamics* (Segunda ed., John Wiley & Sons, NY, 1975).
- L. Eyges, *The Classical Electromagnetic Field* (Dover, NY, 1972).
- J.B. Marion, *Classical Electromagnetic Radiation* (Academic Press, NY, 1965).

FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO

1. **Cristales:** Redes cristalinas. Redes recíprocas. Difracción de rayos X.
2. **Clasificación de sólidos:** Enlace iónico. Enlace covalente. Energía de cohesión.
3. **Metales:** Teoría de Drude. Modelo semiclásico del electrón libre. Superficie de Fermi. Estructura de bandas de metales.
4. **Teoría de bandas:** Teorema de Bloch. Modelo del electrón libre. Modelo del electrón casi libre. Método de enlace fuerte.
5. **Vibraciones de la red:** Fallas del modelo de red estática. Cristales armónicos. Fonones. Efecto anarmónico.
6. **Semiconductores:** Semiconductores homogéneos. Semiconductores inhomogéneos. Estructuras artificiales. Interacción electrón-fonón (polarones).
7. **Superconductividad:** Revisión de las propiedades del estado superconductor. Modelos fenomenológicos de las propiedades del estado superconductor. La teoría BCS (Bardeen-Cooper-Schrieffer) de la superconductividad. Nuevos materiales superconductores.

Bibliografía:

- Charles Kittel, *Introduction to Solid State Physics* (John Wiley & Sons, NY, 1986).
- Harald Ibach and Hans Lüth, *Solid State Physics: An introduction to Theory and Experiments* (Springer Verlag, Berlin, 1991).
- N.W. Ashcroft and N.D. Mermin, *Solid State Physics* (Saunders College International Editions, NY, 1986).

DEPARTAMENTO DE FISICA APLICADA
CINVESTAV-IPN-Unidad Mérida

**Maestría en Ciencias con especialidades en
Física Aplicada y Fisicoquímica**

P R O G R A M A

MAESTRIA (2 años - fecha de inicio: 1 de septiembre)

Especialidad en Fisicoquímica

Primer semestre:

Fisicoquímica I
Química Inorgánica
Métodos Matemáticos I
Seminario

Segundo semestre:

Fisicoquímica II
Química Cuántica
Métodos Matemáticos II
Electivo I

Tercer semestre:

Química del Estado Sólido
Termodinámica Estadística
Investigación (tesis)

Cuarto semestre:

Optativo
Investigación (tesis)

MÉTODOS MATEMÁTICOS I

- 1. Matemáticas computacionales:** Hojas de cálculo. Programación computacional. Mathematica y otros programas computacionales.
- 2. Series infinitas:** Definición de serie. Pruebas de convergencia y divergencia. Serie de potencias. Series de MacLaurin y Taylor. Serie de Fourier e integral de Fourier.
- 3. Coordenadas curvilíneas:** Coordenadas generalizadas y ortogonalidad. Operadores vectoriales diferenciales de coordenadas curvilíneas: gradiente, divergencia y rotacional. Coordenadas cilíndricas circulares y polares esféricas.
- 4. Análisis vectorial:** Integrales de línea. Integrales de superficie y volumen. Gradiente, divergencia y rotacional como una integración vectorial. Teoremas de Gauss, Green y Stokes. Potencial escalar y potencial vectorial. Función delta de Dirac.
- 5. Matrices ortogonales y valores propios:** Matrices y transformaciones ortogonales. Eigenvalores y eigenvectores. Diagonalización de matrices. Matrices canónicas. Matrices complejas.
- 6. Métodos numéricos:** Solución de ecuaciones ordinarias. Interpolación. Integración numérica. Métodos de álgebra lineal con matrices. Ecuaciones diferenciales de primer orden. Sistemas de ecuaciones diferenciales de segundo orden o superior.

Bibliografía

- G. Arfken, *Mathematical methods for physicists* (3 ed., Academic Press, 1985).
- J.R. Barrante, *Applied Mathematics for Physical Chemistry* (3 ed., Pearson Prentice Hall, 2004).
- I.N. Levine, *Quantum Chemistry* (6 ed., Prentice Hall, 2009).
- D.A. McQuarrie, J.D. Simon, *Physical Chemistry: a Molecular Approach* (University Science Books, 1997).
- C.L. Perrin, *Mathematics for Chemists* (Wiley-Interscience, 1970).
- R.J. Sime, *Physical Chemistry Calculations* (Pearson Benjamin Cummings, 2005).
- E. Steiner, *The Chemistry Maths Book* (2 ed., Oxford, 2008).

FISICOQUÍMICA I

1. **Formalismo del equilibrio termodinámico:** Ecuación fundamental de la termodinámica. Potenciales termodinámicos. Principios extremales. Condiciones de espontaneidad y equilibrio.
2. **Termodinámica de soluciones:** Magnitudes molares parciales. El potencial químico y la ecuación de Gibbs-Duhem. Criterio general para el equilibrio de fases. Disoluciones ideales. Ley de Raoult. Ley de Henry. Disoluciones no-ideales. Actividad. Coeficiente de actividad. Propiedades coligativas.
3. **Equilibrio electroquímico:** Equilibrio químico. Disociación electrolítica (deficiencias de la teoría clásica). Teoría de interacción iónica (fundamentos termodinámicos, teoría de Debye-Hückel, equilibrio en soluciones iónicas). Celdas electroquímicas. Fuerza electromotriz. Potencial de electrodo. Potenciales estándar.
4. **Equilibrio de fases:** Conceptos sobre la estabilidad de las fases. La regla de las fases. Diagramas de fase de componentes puros. Ecuación de Clausius-Clapeyron. Cambios de fase sólido-sólido. Diagramas de fase de sistemas binarios líquido-líquido. Composición y regla de la palanca. Sistemas binarios líquido-vapor. Mezclas azeotrópicas.
5. **Fenómenos superficiales:** Capilaridad. Tensión superficial. Termodinámica de interfases líquidas. Interfases curvas. Ecuación de Young-Laplace. Mojado de superficies. Ángulo de contacto. Tipos de surfactantes. Micelas y concentración micelar crítica. Detergencia. Ejemplos diversos de dispersiones coloidales.
6. **Estructura de fases condensadas:** Propiedades eléctricas de las moléculas (electronegatividad, momento dipolar eléctrico, polarizabilidad, etc.). Fuerzas intermoleculares (fuerzas de London, interacción dipolo-dipolo, interacción ión-dipolo, enlace de hidrógeno). Potencial de Lennard-Jones. Efecto de las fuerzas de interacción en las propiedades de las sustancias (ej. líquidos y gases reales).
7. **Movimiento molecular en gases:** Postulados básicos de la teoría cinética de los gases. Función de distribución de velocidad. Velocidades características. Efusión. Colisiones moleculares. Frecuencia de colisiones. Trayectoria libre media.

Bibliografía:

- I. Levine, *Fisicoquímica* (5a. edición, McGraw-Hill, Interamericana, 2004).
- P. Atkins, J. de Paula, *Physical Chemistry* (8a. edición, Univ. Press, Oxford, 2006).
- P. Atkins, J. de Paula, R. Friedman, *Quanta, Matter and Change: a molecular approach to physical chemistry* (Oxford University Press, Oxford, 2008).
- T. Engel, P. Reid, *Physical Chemistry* (Pearson education Inc., 2006).
- A.W. Adamson, A.P. Gast, *Physical chemistry of surfaces* (6a. edición, Wiley-Interscience, 1997).

QUÍMICA INORGÁNICA

1. **Estructura atómica:** Partículas fundamentales de un átomo. Carácter dual de las partículas sub-atómicas. Números cuánticos. Orbitales atómicos. Energía de los orbitales atómicos, carga nuclear, número atómico, número másico e isotopos de los elementos. Principio de Aufbau. Principio de exclusión de Pauli, primera regla de Hund.
2. **La Tabla Periódica de los elementos:** El origen de los elementos. Propiedades periódicas. Electrones de valencia. Electronegatividad (Pauling y Mulliken). Energía de Ionización. Electroafinidad. Los elementos y sus compuestos. Reacciones químicas y su relación con las propiedades periódicas. Elementos puros, propiedades físico químicas en relación con su posición en la tabla periódica. Elementos de transición y sus propiedades.
3. **Modelos de enlace químico:** Enlace iónico, metálico y covalente. Estructuras de Lewis. Regla del octeto. Teoría de repulsión de pares de electrones de valencia, aplicaciones. Teoría del enlace de valencia, hibridación, aplicaciones. Teoría de orbitales moleculares, sistemas homo y hetero nucleares, aplicaciones. Estado sólido, relación enlace-estructura. Tipos de empaquetamiento estructural. Energía de red. Ciclo Born-Haber. Constante de Madelung. Ecuación de Born-Landé. Análisis de la densidad electrónica.
4. **Introducción a la Química de Coordinación:** Nomenclatura. Números de coordinación y geometrías, isomerismo. Constantes de estabilidad. Teoría del campo cristalino y propiedades. Introducción a la simetría molecular. Operaciones de simetría, grupos puntuales y aplicaciones.
5. **Teorías de Ácidos y Bases :** Ácidos de Brönsted. Acidez de Lewis. pH, pKa y sus aplicaciones. Introducción a las teorías modernas de ácidos y bases. Generalización de los conceptos de ácidos y bases de Lewis. Principio HSAB y reactividad química.
6. **Metodologías de síntesis en solución:** Precipitación y fenómenos que le acompañan (nucleación y crecimiento). Productos de solubilidad y equilibrios en solución. Reacciones de sustitución en solución acuosa, reacciones de sustitución en disolventes no acuosos, reacciones redox, catálisis homogénea vs heterogénea. Nanomateriales, relación tamaño - propiedades. Teoría de bandas y semiconductores. Nivel de Fermi. Sistemas 0D, 1D, 2D y 3D.
7. **Técnicas avanzadas de caracterización de materiales inorgánicos:** Espectroscopia UV-Vis, aplicaciones. Introducción a la difracción de rayos X, elementos básicos del modelado de estructuras cristalinas. Espectroscopias infrarroja y Raman, principios básicos. Introducción a la resonancia magnética nuclear, aplicaciones. Principios básicos de las microscopías electrónicas de transmisión y de barrido.

Bibliografía:

- F.A. Cotton and G. Wilkinson, *Química inorgánica avanzada* (1978).
- B.E. Douglas and D.H. Mc Daniel, *Conceptos y modelos de química inorgánica* (1970).
- J.E. Huheey, *Química inorgánica. Principios de estructura y reactividad* (Editorial

Harla, México, 1981).

- G.C. Demitras, C.R. Russ, J.F. Salmon, and G.S. Weiss, *Química inorgánica* (Editorial Prentice Hall, México, 1973).
- Willian B. Jensen. *The Lewis Acid Based Concepts. An Overview*. John Wiley and Sons, New York. 1979.
- *Nanoparticles: From theory to applications*. Ed. by Gunter Schmid. 2004 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- J.-P. Jolivet, *Metal Oxide Chemistry and Synthesis - From Solution to Solid State*, Wiley- Interscience, Chichester, 2003

SEMINARIO

El curso consiste de tres partes: (i) Seminarios Departamentales, impartidos por los investigadores del Departamento, para informar a los estudiantes de maestría de sus líneas de investigación; (ii) visitas a laboratorios de los investigadores y los laboratorios centrales de la Unidad (Laboratorio de Nano y Biomateriales, etc.); (iii) un curso teórico sobre los fundamentos de experimentos y la interpretación de resultados en terminos de estadística.

El curso se imparte en el mes de febrero, y es obligatorio para los estudiantes del primer semestre; se lleva un control de asistencia. Los seminarios están abiertos a todos a quien interese asistir. Esta asignatura es cursada por los estudiantes del primer semestre en el programa de maestría, de las dos especialidades, Física Aplicada y Fisicoquímica.

FISICOQUÍMICA II

1. **Procesos de transporte:** Transporte de masa por difusión (leyes de Fick). Conducción térmica. Movimiento browniano. Viscosidad. Conducción iónica. Conductividad molar. Electrolitos débiles y fuertes. Movilidad iónica. Ecuación de Nernst-Einstein. Ecuación de Stokes-Einstein.
2. **Cinética química:** Velocidad de reacción. Mecanismo de reacción. Leyes de velocidad integradas. Reacciones consecutivas. Reacciones paralelas. Reacciones reversibles. Dependencia con la temperatura de las constantes de velocidad. Catálisis. Dinámica de las reacciones moleculares. Superficies de energía potencial. Teoría del complejo activado.
3. **Adsorción y reacciones en superficies sólidas:** Defectos estructurales en las superficies sólidas. Adsorción de gases (fisisorción y quimisorción). Isotermas de adsorción (Langmuir, BET y otras). Catálisis de superficie. Mecanismo de Langmuir-Hinshelwood.
4. **Aspectos eléctricos de la química superficial:** La interfase electrificada en coloides. La doble capa eléctrica. La interfase metal-solución. Teoría de Gouy-Chapman. La capacitancia de Helmholtz. El potencial zeta. Fenómenos electrocinéticos. Potencial de carga cero. Concepto de potencial absoluto de electrodo.
5. **Cinética electroquímica:** Cinética de una reacción de electrodo simple. Barreras de energía de activación. Coeficiente de transferencia. Densidad de corriente de intercambio. Ecuación de Butler-Volmer. Aplicaciones a diversos procesos electroquímicos (celdas de electrólisis, celdas de combustible y celdas de corrosión).
6. **Macromoléculas:** Tipos, tamaño y forma, peso molecular promedio, propiedades coligativas de macromoléculas. Polielectrolitos y diálisis. Propiedades de transporte de macromoléculas cargadas eléctricamente.
7. **Principios de espectroscopia:** Transiciones entre niveles de energía (absorción ó emisión de radiación electromagnética). Vibraciones moleculares. Niveles de energía. Reglas de selección. Espectroscopia de absorción de infrarrojo. Transiciones rotacionales. Espectroscopia Raman. Transiciones electrónicas. Espectroscopia ultravioleta y visible.

Bibliografía:

- P. Atkins, J. de Paula, *Physical Chemistry* (8a. edición, Univ. Press, Oxford, 2006).
- P. Atkins, J. de Paula, R. Friedman, *Quanta, Matter and Change: a molecular approach to physical chemistry* (Oxford University Press, Oxford, 2008).
- T. Engel, P. Reid, *Physical Chemistry* (Pearson education Inc., 2006).
- J. O'M Bockris, S.U.M. Khan, *Surface electrochemistry: a molecular level approach* (Springer, 1993).
- A.W. Adamson, A.P. Gast, *Physical chemistry of surfaces* (6a. edición, Wiley-Interscience, 1997).

QUÍMICA CUÁNTICA

1. **Ecuación de Schrödinger:** Ec. de Schrödinger dependiente del tiempo. Estados estacionarios. Probabilidad.
2. **Partícula libre y potenciales unidimensionales:** Partícula en una caja. Partícula en un pozo. Efecto túnel.
3. **Operadores en mecánica cuántica:** Ec. de Schrödinger tridimensional para un sistema de varias partículas. Partícula en una caja tridimensional. Degeneración. Valores medios.
4. **Oscilador armónico y Momento angular:** Oscilador armónico unidimensional. Vibración de moléculas. Momento angular de un sistema de una partícula. Método de operadores escalera.
5. **El átomo de hidrógeno:** Fuerzas centrales. Separación de variables. Rotor rígido. Estados enlazantes. Orbitales hidrogenoides. Efecto Zeeman.
6. **Teoremas de la mecánica cuántica:** Operadores hermíticos. Desarrollo en términos de funciones propias. Funciones propias de operadores que conmutan. Paridad. Superposición de estados. Postulados de la mecánica cuántica.
7. **Métodos aproximados:** Teorema de variaciones. Ecuaciones lineales simultáneas. Funciones variacionales lineales. Teoría de perturbaciones no degenerada. Estado fundamental de helio. Teoría de perturbaciones para estados degenerados. Estados excitados de helio. Perturbaciones dependiente del tiempo.
8. **El espín del electrón y el principio de Pauli:** Átomo de helio. Determinantes de Slater. Estado fundamental de litio. Momento magnético de espín.
9. **Introducción a sistemas poliatómicos:** Moléculas, cúmulos y sólidos. Introducción a métodos ab initio y del funcional de la densidad. Introducción a tratamientos semi-empíricos.

Bibliografía:

- D.A. McQuarrie, *Quantum Chemistry* (University Science Books, 1983).
- I.N. Levine, *Quantum Chemistry* (Allyn and Bacon, Inc. 1983).
- Luis de la Peña, *Introducción a la Mecánica Cuántica* (Fondo de Cultura Económica, México, 1991).
- E. Merzbacher, *Quantum Mechanics* (John Wiley & Sons, 1970).

MÉTODOS MATEMÁTICOS II

- 1. Funciones de variable compleja:** Derivadas e integrales de funciones complejas. Fórmula integral de Cauchy. Series complejas. Cálculo de residuos. Transformada de Laplace. Solución de ecuaciones diferenciales con el método de la transformada de Laplace.
- 2. Análisis de Fourier:** Integral de Fourier. Transformadas integrales. Transformada de Fourier. Solución de ecuaciones diferenciales con el método de la transformada de Fourier.
- 3. Funciones especiales para ecuaciones diferenciales de segundo orden:** Método general con series de potencias. Método de Frobenius. Ecuaciones de Legendre, Hermite y Laguerre. Funciones de Bessel. Ecuaciones diferenciales parciales y separación de variables.
- 4. Operadores:** Notación de Dirac para vectores y funciones. Ortogonalidad y ortonormalidad. Definición de operadores. Operadores lineales y conmutación. Operadores vectoriales. Ecuaciones de valores propios. Operadores hermíticos.
- 5. Teoría de grupos:** Elementos y operaciones de simetría. Grupos puntuales de simetría. Representación de grupos.

Bibliografía:

- G. Arfken, *Mathematical methods for physicists* (3 ed). Academic Press, 1985.
- J.R. Barrante, *Applied Mathematics for Physical Chemistry* (3 ed). Pearson Prentice Hall, 2004.
- S. Hassani, *Mathematical Methods for Students of Physics and Related Fields* (2 ed). Springer, 2009.
- I.N. Levine, *Quantum Chemistry* (6 ed). Pearson Prentice Hall, 2009.
- D.A. McQuarrie, J.D. Simon, *Physical Chemistry: a Molecular Approach*. University Science Books, 1997-
- C.L. Perrin, *Mathematics for Chemists*. Wiley-Interscience, 1970.
- R.W. Robinett, *Quantum Mechanics (2 ed)*. Oxford University Press, 2006.
- E. Steiner, *The Chemistry Maths Book (2 ed)*. Oxford, 2008.

ELECTIVO I

En este curso, el estudiante puede elegir entre dos opciones mayores: (i) Laboratorio; (ii) Métodos computacionales. Este curso es llevado por los estudiantes del primer semestre en el programa de maestría, de las dos especialidades, Física Aplicada y Fisicoquímica, y se lleva a cabo en el mes de agosto, de tiempo completo.

En el curso de Laboratorio, a los estudiantes se les imparten los fundamentos y aplicaciones del manejo de datos, y procesamiento estadístico de resultados experimentales. Posteriormente los estudiantes escogen un proyecto de un conjunto de proyectos previamente planteados por los investigadores del departamento. Este proyecto se debe llevar a cabo durante alrededor de 3 semanas. El objetivo del curso es que el estudiante realice un proyecto usando las instalaciones del Departamento, aprendiendo las bases de la investigación y método científico aplicado a un proyecto específico.

En el curso Métodos computacionales, los estudiantes reciben un curso sobre métodos teóricos y computacionales usado en una variedad de temas, incluyendo el cálculo de estadísticas de sistemas complejos, propiedades opto-electrónicas de materiales, nanomateriales, cúmulos, y moléculas, además de métodos computacionales para estudiar la física de alta energía.

TERMODINÁMICA ESTADÍSTICA

1. **Conceptos introductorios:** Entropía y segunda ley. Ecuación fundamental de la termodinámica. Potenciales termodinámicos. Principios extremales. Equilibrio y espontaneidad. Relaciones de Maxwell. Análisis combinatorio para objetos distinguibles e indistinguibles. Distribuciones de probabilidad discretas y continuas (binomial, Poisson y gaussiana). Características numéricas de las distribuciones de probabilidad (media, varianza y desviación estándar).
2. **Estadística de partículas independientes:** El método de Maxwell-Boltzmann. Microestados y macroestados. El macroestado más probable. La distribución más probable de partículas. Identificación de los multiplicadores de Lagrange. La función de partición molecular. Niveles de energía y degeneración para átomos poliatómicos y moléculas diatómicas. El principio de equipartición de la energía. Evaluación de las propiedades termodinámicas del gas ideal.
3. **Mecánica estadística:** El método de Gibbs de los colectivos. Colectivo canónico. Otros colectivos (gran canónico, microcanónico, isotérmico-isobárico). Interpretación estadística del primer principio de la termodinámica. Definición estadística de la entropía. Fluctuaciones. Estadística de Boltzmann. Introducción a las estadísticas de Fermi-Dirac y Bose-Einstein.
4. **Estadística del gas ideal:** La paradoja de Gibbs. Función de partición canónica para el gas ideal monoatómico, diatómico y poliatómico. Cálculos de constantes de equilibrio químico en términos de parámetros moleculares.
5. **Estadística de gases no-ideales:** La función de partición canónica para el gas denso. Gas de van der Waals. La expansión del virial para un gas de un componente.
6. **Estadística cuántica:** El gas ideal de Fermi. Gases de electrones en metales. El gas ideal de Bose-Einstein. Distribución de Planck. Propiedades termodinámicas del gas de fotones en equilibrio térmico. Vibraciones de red y fonones. Modelos de Einstein y Debye.
7. **Fenómenos de no-equilibrio:** Teoría cinética elemental del transporte en gases. Distribuciones de velocidad de Maxwell-Boltzmann. Cinética del transporte molecular. Teoría de colisiones binarias.

Bibliografía:

- N. M. Laurendeau, *Statistical thermodynamics. Fundamentals and applications* (Cambridge University Press, 2005).
- D.A. McQuarrie, *Statistical mechanics* (University Science Books, 2000).
- W. Greiner, L. Neise and H. Stöcker, *Thermodynamics and statistical mechanics* (Springer, 1997).
- F. Reif, *Fundamentals of statistical and thermal physics* (McGraw-Hill, 2008).
- K.A.Dill, S. Bromberg, *Molecular driving forces: statistical thermodynamics in chemistry and biology* (Garland Sciences, 2002),

QUIMICA DEL ESTADO SOLIDO

- 1. Química de cristales:**
Algunos compuestos simples, binarios y ternarios. Introducción a la Difracción de rayos-X.
- 2. Cristales imperfectos:**
Defectos puntuales, dislocaciones, defectos extendidos.
- 3. Propiedades de sólidos:**
Propiedades ópticas, electrónicas y magnéticas.
- 4. Tópicos selectos:**
Superconductividad, fullerenos, magnetoresistencia, semiconductores, sólidos moleculares.
- 5. Introducción a polímeros:**
Diferentes mecanismos de polimerización, diferentes tipos de polímeros, relaciones longitud propiedad-cadena.

Bibliografía:

- R. Hoffmann, *Solids and Surfaces* (VCH Publisher, inc., New York, 1988).
- A.R.West, *Solid State Chemistry and its Applications* (Hohn Wiley & Sons, 1984).
- A.K. Cheetham and Peter Day, *Solid State Chemistry Techniques* (Oxford University Press, 1987).
- Lesley Smart and Elaine Moore, *Solid State Chemistry. An introduction* (Chapman & Hall, 1992).
- P.A.Cox, *The Electronic Structure and Chemistry of Solids* (1990).
- U. Müller, *Inorganic Structural Chemistry* (Hohn Wiley & Sons, 1993).

APÉNDICE 2:

Listado de cursos optativos registrados en el programa de Maestría en Ciencias con especialidades en Física Aplicada y Fisicoquímica

Lista de Cursos Optativos	
1.	Absorción Rayos X – 1
2.	Absorción de Rayos X-II
3.	Absorción y dispersión de Luz por partículas pequeñas
4.	Astronomía Observacional e Instrumentación
5.	Biomateriales
6.	Calorimetría
7.	Caracterización Fisicoquímica de Materiales Nanoestructurados
8.	Catálisis
9.	Ciencia de materiales en geometría de capa delgada
10.	Cinética y Termodinámica de Reacciones Enzimáticas
11.	Ciencia de Materiales
12.	Cómputo científico
13.	Conceptos de Física para el análisis de series de tiempo fisiológicas: el caso de la variación del ritmo cardiaco
14.	Control de Corrosión
15.	Corrosión en estructuras de concreto
16.	Curso avanzado de física y tecnología de celdas solares de CdS/CdTe
17.	Cristalografía
18.	Deposición electroquímica de metales - fundamentos básicos
19.	Depósito de Semiconductores por baño químico
20.	Dinámica de Crecimiento en Condiciones Fuera de Equilibrio
21.	Dinámica Molecular
22.	Dinámica molecular, métodos computacionales de simulaciones moleculares
23.	Dispersiones Coloidales
24.	Efecto Josephson
25.	Electrocínética en nanopartículas de carbono, materiales compuestos alineados y modelos de relación viscoelástica
26.	Electrodeposición de metales
27.	Electroquímica de Semiconductores
28.	Elementos de Econofísica, Redes y Estadística Avanzada
29.	Elementos de Física Computacional
30.	Entrelazamiento cuántico en materia condensada
31.	Equilibrio de fases en sistemas cerámicos
32.	Espectroscopía de impedancia electroquímica y su aplicación para la caracterización de celdas solares sensibilizadas con tintes

33.	Espectroscopias AES yXPS
34.	Espectroscopía de Semiconductores
35.	Espectroscopía Fototérmica I
36.	Espectroscopía Fototérmica II
37.	Espectroscopía Óptica y Aplicaciones
38.	Estado Sólido Avanzado
39.	Estructura Electrónica de Materiales
40.	Estudio de la Estructura Electrónica: Teoría y Métodos
41.	Física Computacional
42.	Física de aceleradores de partículas I
43.	Física de Macromoléculas
44.	Física de Medios Granulares
45.	Física de Partículas
46.	Física de Radiaciones
47.	Física de Radiación Sincrotrón
48.	Física de Sistemas de Baja Dimensionalidad
49.	Física y Química del Grafeno
50.	Física y Tecnología de celdas solares de películas delgadas con énfasis en el caso del CdTe/CdS
51.	Fluidos Metaestables
52.	Fotoelectroquímica de Semiconductores
53.	Funciones de Green y Aplicaciones
54.	Fundamentos del análisis térmico y sus técnicas combinadas
55.	Geofísica Aplicada
56.	Interpretación de la Rugosidad Superficial Mediante Análisis de Imágenes de Alta Resolución
57.	Introducción a la Biotecnología
58.	Introducción a la Física del Estado Sólido
59.	Introducción a la Física de Partículas
60.	Introducción a la Teoría del funcional de la densidad
61.	Introducción a Redes Complejas y Métodos Estocásticos
62.	Introducción al Biodiesel
63.	La física de celdas solares
64.	Lecturas Introdutorias a la Fenomenología y la Experimentación en p QCD
65.	Materiales Inhomogéneos y propiedades efectivas
66.	Mecánica Cuántica III
67.	Mecánica cuántica avanzada
68.	Mecánica Cuántica Relativista en Materia Condensada
69.	Mecánica de Continuos
70.	Métodos de Separación
i	Métodos Electroanalíticos
71.	Métodos Electroquímicos
72.	Métodos químicos para la extracción y valoración de los agentes agresivos en concreto endurecido

73.	Modelado Analítico de Propiedades Térmicas y Eléctricas en Materiales de Capa Delgada
74.	Modelos Matemáticos para la predicción de la vida de servicio de estructuras de concreto reforzado
75.	Nanomateriales de Semiconductores
76.	Óxidos Transparentes Semiconductores: Estado y oportunidades en la investigación básica
77.	Películas Delgadas: Preparación y caracterización
78.	Percolación y fenómenos críticos
79.	Plasmónica de nanomateriales
80.	Preparación de Biomateriales Compuestos
81.	Procesos acuosos con óxidos metálicos
82.	Procesos de Corrosión
83.	Procesos de Difusión
84.	Propiedades Físicas de materiales desordenados
85.	Propiedades de nanotubos de carbono
86.	Propiedades de Transporte y Recombinación en Celdas Solares Foelectroquímicas
87.	Propiedades de la materia granulada
88.	Propiedades Eléctricas y Térmicas de Materiales Compuestos
89.	Propiedades electrónicas y vibracionales de materiales cristalinos
90.	Propiedades electrónicas de materiales cristalinos
91.	Propiedades ópticas de semiconductores
92.	Propiedades ópticas y electrónicas de colorantes para aplicación en celdas solares fotoelectroquímicas
93.	Propiedades térmicas y eléctricas de metales y sus aleaciones en capa delgada
94.	Química computacional
95.	Química Teórica
96.	Recubrimientos selectivos absorbentes solares
97.	Recursos Biorrenovables
98.	Resonancia magnética nuclear (RMN)
99.	Síntesis y Caracterización de Materiales
100.	Síntesis de Nanopartículas
101.	Técnicas de baja temperatura para el depósito de semiconductores en capa delgada: depósito por baño químico
102.	Técnicas de Caracterización de Capas Delgadas Semiconductoras
103.	Técnicas electroquímicas de medición de corrosión
104.	Temas Selectos de Física de H1
105.	Teoría de Muchos Cuerpos
106.	Teoría de Percolación
107.	Termoelectricidad
108.	Tópicos Avanzados de Estado Sólido
109.	Tópicos Selectos sobre Química de Nuevos Materiales y Química Ambiental
110.	Transiciones de fase
111.	Transferencia de calor a micro y nano escala

112. Voltametría aplicada
113. Vórtices en Superconductores