

Instructivo

Programa de Doctorado en Ciencias - Física

Departamento de Física

Facultad de Ciencias

Universidad de los Andes

**Versión aprobada por el Consejo de Departamento en su sesión del 20 de octubre de 2021 y
por el Comité de Investigaciones y Posgrado de la Facultad de Ciencias en su sesión del 21
de octubre de 2021.**

**Revisión menor aprobada por el Consejo del Departamento de Física en su sesión del 8 de
mayo de 2023.**

.....	1
1. Aspectos generales.....	4
2. De la Admisión y la Permanencia en el Programa	5
3. Del Plan de Estudios	6
3.1. Etapa de Fundamentación:	6
3.2. Etapa de Investigación conducente a la tesis:	6
4. De las homologaciones	8
5. De los exámenes.....	8
5.1. Examen de Conocimientos.....	8
5.1.1. Definición Examen de Conocimientos (EdC):	8
5.1.2. Áreas evaluadas y aprobación del Examen de Conocimientos:	9
5.1.3. Formato del examen:	9
5.1.4. Conformación del Comité del Examen de Conocimientos (CEC):	9
5.1.5. Responsabilidades del CEC:.....	10
5.1.6. Calificación del Examen de Conocimientos:.....	10
5.1.7. Calificación del Examen de Conocimientos:.....	11
5.2. Examen de Candidatura	17
5.2.1. Definición Examen de Candidatura:.....	17
5.2.2. Requisitos para la presentación del Examen de Candidatura.....	17
5.2.3. Jurado del Examen de Candidatura.....	18
5.2.4. Formato de la propuesta a evaluar en el Examen de Candidatura	18
a. Documento Escrito	18
b. Sustentación Oral	18
5.2.5. Calificación del Examen de Candidatura:	19
6. De la Dirección de la Tesis.....	19
1. Del seguimiento del trabajo doctoral.....	20
1.1. Del seguimiento del trabajo doctoral por parte del director de tesis	20
1.2. Del comité asesor de tesis doctoral	20
2. De la Pasantía	21
3. Del Trabajo de Tesis	22
3.1. Requisitos para la presentación de la sustentación del trabajo de tesis doctoral.....	22

3.2.	Jurado del trabajo de tesis doctoral.....	22
3.3.	Formato del trabajo de tesis doctoral.....	23
3.3.1.	Documento Escrito.....	23
3.3.2.	Sustentación Oral.....	23
3.4.	Calificación de la Sustentación de Tesis.....	23
3.5.	Requisito de publicación.....	23
4.	De los estudiantes extranjeros.....	24
5.	De los requisitos de grado.....	24

Instructivo

Programa de Doctorado en Ciencias - Física Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes Versión 8 de mayo de 2023

Código SNIES:7259

Título: Doctor en Ciencias-Física

Formación Universitaria Posgrado

Bogotá. D.C

Resolución 11905, otorgada el 25 de julio de 2018 por un periodo de 7 años.

10 periodos de duración (10 Semestres)

Modalidad: Presencial

Los estudiantes del Doctorado en Ciencias – Física están sujetos al Reglamento General de Estudiantes de Doctorado de la Universidad de los Andes (RGED) y al presente instructivo específico del Programa de Doctorado del Departamento de Física. En este último se consideran únicamente las situaciones no contempladas con suficiente detalle en el RGED, en reconocimiento a las diferencias entre los programas doctorales de la Universidad.

1. Aspectos generales

El Doctorado en Física inició en el año 1998. El principal objetivo de este programa es la formación de investigadores integrales. Con este fin se busca desarrollar en el estudiante aptitudes para llevar a cabo investigaciones originales en forma autónoma y ética. Simultáneamente el estudiante adquiere un nivel de madurez en física que le permite abordar su carrera científica con un espíritu crítico necesario para la comprensión y generación de nuevas ideas que lleven al desarrollo exitoso de proyectos de investigación. Hay una activa participación de los estudiantes del programa en investigación de punta en áreas como Física de Altas Energías, Astronomía, Biofísica, Física Teórica, Materia Condensada y Óptica Cuántica.

El Departamento de Física tiene un Coordinador de Posgrados e Investigación en Física, y un Comité de Doctorado compuesto por los miembros del Comité de Posgrados e Investigación en Física (CPIFIS) de acuerdo con lo establecido en el RGED. El Coordinador de Posgrados e Investigación en Física y el CPIFIS orientan y coordinan los programas de posgrado de Física: el Doctorado y la Maestría. De acuerdo al ART. 34 del RGED, el CPIFIS está compuesto por el director del Departamento de física, el Coordinador de Posgrados e Investigación en Física, un estudiante doctoral activo y al menos tres profesores de planta habilitados para el doctorado.

El coordinador Académico-Administrativo, el representante estudiantil de maestría y el representante estudiantil de doctorado también son invitados a participar en las sesiones del CPIFIS. Los procedimientos del nombramiento del Coordinador de Posgrados e Investigación en Física y de los miembros del CPIFIS están dados en el RGED.

El Coordinador de Posgrados e Investigación en Física y el CPIFIS se nombran por un periodo de un año.

En lo que respecta al programa de doctorado las funciones del CPIFIS son las que están consignadas en el ART. 35 del RGED y las que se listan a continuación.

- Velar por el correcto cumplimiento del RGED
- Diseñar e implementar el proceso de admisión
- Hacer seguimiento curricular al programa de doctorado
- Hacer seguimiento del correcto desarrollo y culminación de tesis por parte de los estudiantes
- Liderar los procesos de renovación de registro calificado y la acreditación del programa doctoral y otros procesos asociados con el doctorado

En lo que respecta al programa de doctorado las funciones del Coordinador de Posgrados e Investigación en Física son las que están consignadas en el ART. 35 del RGED y las que se listan a continuación.

- Funcionar como consejero de los estudiantes admitidos al programa doctoral hasta que se les apruebe un director de Tesis quien entonces tomará estas funciones de consejería.
- Aprobar el plan de actividades e informe semestral reportados en el sistema ACADEMIA de los estudiantes admitidos al programa doctoral hasta que se les apruebe un director de Tesis quien entonces tomará estas funciones.
- Organizar actividades de orientación a todos los estudiantes del programa
- Presidir las reuniones del CPIFIS.
- Moderar las sustentaciones de doctorado.
- Actuar en representación del Departamento de Física ante los comités de Investigación y posgrados de la Facultad de Ciencias y el comité de doctorados de Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de los Andes.
- Actuar en representación del CPIFIS en los procesos de renovación de registro calificado y acreditación del programa doctoral y otros procesos asociados con el doctorado.
- Liderar procesos que conduzcan a la mejora del programa.

2. De la Admisión y la Permanencia en el Programa

La admisión al Doctorado en Física es semestral y en las fechas que anuncia la Universidad en su página web cada año. Para la admisión al Programa de Doctorado en Ciencias - Física y la permanencia en este, los solicitantes deben cumplir con los requisitos exigidos en el RGED, artículos 4-11, y los expuestos aquí a continuación:

- Inscripción en la página web.
- Título profesional en Física o un área afín.
- Certificado oficial de calificaciones.
- Hoja de Vida.

- Dos cartas confidenciales de referencia académicas o profesionales.
- Carta de Intención.

Los aspirantes que cumplan con los requisitos expuestos anteriormente deben presentar un examen escrito de admisión sobre conceptos en física. Posteriormente, los aspirantes preseleccionados serán citados a una entrevista personal.

La decisión final del CPIFIS de aceptar o rechazar la admisión al Programa es comunicada a cada uno de los solicitantes por escrito.

La permanencia en el programa se rige por el ART. 10 del RGED.

3. Del Plan de Estudios

3.1. Etapa de Fundamentación:

En esta etapa el plan de estudios consiste en 5 cursos de fundamentación y la aprobación del examen de conocimientos. Los cursos de fundamentación son los siguientes: Electrodinámica, Mecánica Analítica, Laboratorio Avanzado, Mecánica Cuántica Avanzada y Mecánica Estadística.

La Etapa de Fundamentación concluye al haber aprobado satisfactoriamente los cursos de fundamentación y el examen de conocimientos que se explica más adelante.

Todo estudiante activo en el programa de Doctorado Ciencias-Física debe presentar un plan de actividades al inicio de cada periodo académico y un informe semestral al finalizar el mismo en la plataforma ACADEMIA. Si el estudiante no cuenta con un director de tesis, el coordinador de posgrado se encargará de aprobar dichos reportes.

Homologación de cursos

Según el artículo 4 numeral a del RGED, habrá homologación de las notas y créditos cursados a nivel de maestría haciendo la solicitud al CPIFIS. En el caso de ingreso por transferencia externa la homologación se registrará por el artículo 9 del RGED.

3.2. Etapa de Investigación conducente a la tesis:

El plan de estudios de esta etapa consta de 2 cursos avanzados de 4 créditos, actividades de investigación y el examen de candidatura.

Después de aprobar el examen de conocimientos es obligatorio que el estudiante haya definido su línea de investigación y su director de tesis. El estudiante debe informar por escrito al CPIFIS quién es su director de tesis con el visto bueno del correspondiente profesor. En caso de cambiar el director el estudiante debe informarlo por escrito al CPIFIS a la primera oportunidad posible.

Entre las actividades de investigación se cuentan los seminarios avanzados (mínimo dos seminarios avanzados ofrecidos por los grupos de investigación), la pasantía y el trabajo de investigación con el director de tesis. Este último está compuesto por los cursos Investigación 1, Investigación 2 y Tesis.¹

Fase	Código	Título	Créditos
Fundamentos Nivel Maestría (Primeros dos semestres)	FISI 4010	Mecánica Cuántica Avanzada I	4
	FISI 4040	Mecánica Estadística	4
	FISI 4405	Mecánica Analítica	4
	FISI 4430	Electrodinámica	4
	FISI 4051	Laboratorio Avanzado	4
	FISI 6001	Examen de conocimientos	0
Total Créditos			20
Tercer Semestre	XXXX	Curso electivo I	4
	FISI 6111	Seminario Avanzado I	4
Total Créditos			8
Cuarto Semestre	XXXX	Curso electivo II	4
	FISI 6112	Seminario Avanzado II	4
	FISI 6202	Investigación I	4
Total Créditos			12
Quinto Semestre	XXXX	Investigación II	4
	FISI 6972	Examen de Candidatura	5
Total Créditos			9
Sexto Semestre	FISI 6982	Tesis I	8
Total Créditos			8
Séptimo Semestre	FISI 6983	Pasantía	0
Total Créditos			0
Octavo Semestre	FISI 6983	Tesis II	8
Total Créditos			8
Noveno Semestre	FISI 6983	Tesis III	8
Total Créditos			8
Décimo Semestre	FISI 6983	Tesis IV	9
	FISI 6990	Sustentación de Tesis	0
Total Créditos			9
TOTAL CRÉDITOS PROGRAMA			82

Cada seminario avanzado es de 4 créditos, cada curso de Investigación es de 4 créditos, la pasantía tiene 0 créditos y los cursos de Tesis suman 33 créditos en total. Investigación 1 incluye la asignatura de ética ofrecida por la Universidad que corresponde a uno de los créditos del curso.

¹ Plan de estudios pendiente por aprobación de Consejo Académico.

El examen de candidatura tiene 5 créditos y se presenta una vez se haya aprobado el curso de Investigación 1. Los detalles de este curso se mencionan más adelante.

La Tesis se inicia después de haber aprobado el examen de candidatura y debe ser desarrollada en un periodo de tiempo que no supere los tiempos máximos estipulados para el plan de estudios en el RGED.

4. De las homologaciones

Los estudiantes admitidos al programa que tengan título de maestría podrán solicitar al CPIFIS la homologación en el doctorado de los créditos cursados en la maestría tal como se indica en el capítulo de ingreso y permanencia del RGED y como se indica en el capítulo del régimen académico del mismo documento.

Inmediatamente sea admitido, el estudiante debe solicitar por escrito la homologación de los créditos de su maestría, en la secretaría de posgrado del Departamento de Física. Dicho proceso debe terminar en los periodos establecidos en el capítulo de ingreso y permanencia del RGED. Si los créditos a homologar corresponden a cursos solicitados por el estudiante hacen parte del programa de maestría ofrecido por el Departamento de Física, la revisión de la homologación la hará directamente el coordinador de posgrados e investigaciones.

El CPIFIS se encargará de revisar la documentación necesaria para evaluar la pertinencia de las asignaturas en el marco del programa doctoral del estudiante de todos los cursos a homologar que se hayan tomado en programas externos a los programas ofrecidos por el Departamento de Física. No serán homologados créditos por investigación (trabajos de tesis). La única excepción a este aparte se podrá hacer en casos de cotutela, según lo estipulado en el convenio que se establezca con la Universidad externa.

Los estudiantes de doctorado que hayan cursado y aprobado todos los cursos de la etapa de fundamentación, y los exámenes de conocimientos y candidatura, podrán solicitar la obtención del título de Magister en Ciencias Física.

5. De los exámenes

5.1. Examen de Conocimientos

5.1.1. Definición Examen de Conocimientos (EdC):

El EdC es una prueba que tiene como objetivo medir el grado de conocimientos de un estudiante en cuatro áreas centrales de la física como son: mecánica clásica, electrodinámica, mecánica cuántica y mecánica estadística. Este examen es diseñado por un comité designado para tal fin, llamado Comité de Examen de Conocimientos, CEC.

Según lo estipulado en el RGED, el estudiante tiene dos oportunidades para aprobar el EdC. El resultado de este examen corresponde a la calificación del curso “Examen de Conocimientos FISI-6970”. Un estudiante que ingrese al Doctorado debe inscribir el curso FISI-6970 en el segundo semestre de su programa académico de tal forma que presentará por primera vez el EdC a más tardar al final del primer año de estudios. El estudiante debe haber aprobado el EdC al finalizar sus primeros dos años de estudios de doctorado.

El EdC puede presentarse dos veces al año. La fecha en que se realizará el examen se anunciará con dos meses de anticipación.

5.1.2. Áreas evaluadas y aprobación del Examen de Conocimientos:

Las áreas a evaluar en el EdC son: mecánica clásica, electrodinámica, mecánica cuántica y mecánica estadística. Las competencias a evaluar en el examen coinciden con las competencias establecidas para los cursos de pregrado y posgrado correspondientes a cada área. Versiones anteriores del EdC y sus soluciones son públicas y pueden consultarse en la página web del Departamento.

El EdC contempla la opción de aprobación parcial por áreas en el primer intento. El estudiante debe presentar el examen en las cuatro áreas en su primer intento. Si en este intento el estudiante reprueba el examen, pero aprueba parcialmente algunas de las áreas evaluadas, el estudiante podrá presentar, en el segundo intento, solamente las áreas que no haya aprobado parcialmente en el intento previo.

5.1.3. Formato del examen:

El examen consta de una evaluación escrita y una evaluación oral. La evaluación escrita se llevará a cabo en 4 sesiones distribuidas en tres días, una por cada área a evaluar. La duración de cada sesión será de 3 horas. Cada prueba escrita tendrá seis problemas de los cuales el estudiante debe responder 4. Dos problemas de nivel de pregrado y dos de nivel de posgrado. Los problemas de nivel de pregrado equivalen a un 40% de la nota máxima de la prueba y los problemas de nivel de posgrado equivalen a un 60% de la nota restante.

Dependiendo de la calificación obtenida en la evaluación escrita los estudiantes pueden ser llamados a examen oral con el fin de complementar el diagnóstico sobre las competencias del estudiante en los temas evaluados. En caso de ser llamado a evaluación oral el estudiante deberá presentarse a esta evaluación el día en que sea citado por el CEC. La evaluación oral tendrá una duración aproximada de 30 minutos por estudiante.

5.1.4. Conformación del Comité del Examen de Conocimientos (CEC):

El CEC está formado por cuatro profesores de planta del Departamento de Física, y se renueva cada semestre en el Consejo de Departamento. Para garantizar una continuidad

en el nivel y calificación del examen, al renovar el CEC, por lo menos dos miembros del anterior Comité formarán parte del nuevo.

5.1.5. Responsabilidades del CEC:

El CEC será responsable de la preparación de los temarios del EdC, de su análisis, su solución, aplicación y calificación.

El CEC calificará los exámenes escritos asignándoles notas en un rango de 0 a 100. El CEC llamará a evaluación oral a los estudiantes que satisfagan los criterios de la calificación de la parte escrita del EdC, que se especifican en la siguiente sección.

El CEC socializará los resultados del EdC al Consejo de Departamento en su primera reunión del semestre.

El CEC elaborará un acta del EdC en la cual se incluirá un análisis global del mismo con estadísticas, copia de los enunciados, las soluciones, los originales de los exámenes escritos entregados por los estudiantes y comentarios adicionales que el comité considere pertinentes. El CEC entregará el acta del EdC al director del Departamento transcurridos máximo 30 días calendario después de la socialización de resultados ante el Consejo del Departamento.

5.1.6. Calificación del Examen de Conocimientos:

La nota del curso FISI – 6970, que corresponde a un intento del EdC se reporta a la Oficina de Admisiones y Registro como “aprobado” o “reprobado”. Esta nota estará basada en la nota de la prueba escrita y, donde aplique, en el desempeño del estudiante en la prueba oral.

Se define la calificación promedio del intento (CPI) como el promedio de las calificaciones obtenidas en las pruebas escritas de las áreas presentadas en ese intento (sin considerar las notas de las pruebas presentadas anteriormente). Las calificaciones individuales de las pruebas escritas en cada una de las áreas se usarán como criterio para decidir si el estudiante aprueba parcialmente el EdC. El CEC podrá emitir la calificación de *Aprobación Parcial*, que se mantiene en un registro interno del Departamento. En este caso el estudiante necesitará retomar el EdC en las áreas que corresponden a los temas que haya reprobado.

Si el CPI es estrictamente menor al 50% de la calificación máxima, el estudiante reprueba el examen. Sin embargo, en este caso el estudiante puede aprobar parcialmente las áreas en las que haya obtenido una nota mayor o igual al 70% de la calificación máxima.

Si el CPI es estrictamente inferior al 65% y mayor o igual al 50% de la calificación máxima, el estudiante será llamado a examen oral en las áreas en las que la calificación del examen escrito sea mayor al 40% y menor al 70% de la calificación máxima. Si la calificación conjunta del examen escrito y el examen oral en un área es mayor al 70% de la calificación máxima se da la aprobación parcial de dicha área.

Si la calificación del examen escrito es mayor o igual al 65% de la calificación máxima y en ningún área es inferior al 40%, el estudiante aprueba el examen sin necesidad de presentar examen oral.

Resultado del examen escrito	Implicación
CPI es estrictamente menor al 50% de la calificación máxima	Examen reprobado. Habrá aprobación parcial de las áreas en las que la nota de la prueba escrita sea mayor o igual al 70% de la calificación máxima.
CPI es menor o igual al 50% y estrictamente menor al 65% de la calificación máxima.	Aprobación dependiente del resultado del examen oral. El estudiante se llama a examen oral. Áreas cuya nota en el examen escrito sea menor al 40% de la calificación máxima son automáticamente reprobadas. Áreas cuya nota en el examen escrito sea mayor o igual al 70% de la calificación máxima son automáticamente aprobadas. La aprobación de las áreas que no estén en estos criterios será definida por el CEC en el examen oral.
CPI es mayor o igual al 65% y ningún área tiene calificación menor al 40% de la calificación máxima.	Examen aprobado. El estudiante es eximido de la prueba oral.

5.1.7. Temario del Examen de Conocimientos:

5.1.7.1. Mecánica Cuántica:

Formalismo de la Mecánica Cuántica:

- Espacios vectoriales lineales
- Formalismo de Dirac
- Principio de incertidumbre
- Valores propios de posición y momentum
- Relaciones conmutación, proyectores
- Cambios de base
- Operador de traslación
- Funciones de onda
- Paquetes gaussianos
- Estados mezclados
- Matrices densidad

Evolución temporal:

- Spin $-1/2$ en campo magnético
- Dependencia temporal de operadores y elementos matriciales
- Teorema de Ehrenfest

Mecánica de Ondas en una dimensión:

- Potenciales: infinitos, cuadrados, escalón, delta
- Oscilador armónico
- Operadores escalera
- Aproximación WKB
- Amplitud de scattering
- Corrimientos de fase
- Estados coherentes

Momento Angular:

- Momento angular orbital
- Adición de momento angular
- Coeficientes de Clebsch-Gordan
- Rotaciones en 2-D y 3-D, generador de rotaciones, rotaciones alrededor de ejes arbitrarios. Ejemplos: Ecuación de Schrödinger en 3-d: Moléculas biatómicas, oscilador armónico 3-d, átomo de hidrógenos sin spin

Métodos de aproximación y aplicaciones:

- Teoría de perturbaciones independientes del tiempo
- Ejemplos de teoría de perturbaciones independiente del tiempo: efecto Stark lineal y cuadrático, estructura fina e hiperfina del átomo de Hidrogeno
- Aproximación variacional
- Teoría de perturbaciones dependientes del tiempo
- Regla de oro de Fermi, perturbaciones armónicas, resonancia de spin
- Aproximación WKB
- Partículas idénticas: Fermiones y bosones
- Interacción de intercambio
- Interacción radiación materia
- Mecánica cuántica relativista

Bibliografía:

S. Weinberg, Lectures on Quantum Mechanics, Cambridge U.P., 2013.
J. J. Sakurai, Modern Quantum Mechanics, Benjamin/Cummings 1985/94, segunda edición 2011.

C. cohen-Tannoudji et al., Quantum Mechanics, Hermann & Wiley 1973, segunda edición, 1977.

F. Schwabl, Advanced Quantum Mechanics, Springer 1992, 1995, 2002, cuarta edición, 2007.

N. Zettili; Quantum Mechanics: Concepts and Applications, Wiley, segunda edición, 2009.

D. J. Griffiths, D. F. Schroeter, Introduction to Quantum Mechanics, Cambridge University Press, tercera edición, 2018.

5.1.7.2. Electrodinámica:

Electrostática:

- Ley de Gauss
- Ecuaciones de Laplace y Poisson
- Trabajo y energía en electrostática
- Conductores
- Expansión multipolar
- Dieléctricos
- Polarización
- Campos eléctricos en la materia (cargas ligadas, desplazamiento eléctrico, susceptibilidad)
- Funciones de Green en coordenadas cilíndricas y esféricas

Magnetostática:

- Ley de fuerza de Lorentz
- Ley de Biot-Savart
- Ley de Ampère
- Potencial vectorial magnético
- Campos magnéticos en la materia
- Ley de Faraday
- Ecuaciones de Maxwell

Campos dependientes del tiempo:

- Leyes de conservación en electrodinámica
- Ondas electromagnéticas en el vacío
- Energía y momento en las ondas EM
- Campos cuasiestáticos
- Campos inducidos
- Ondas planas en el espacio
- Polarización
- Guías de ondas
- Potenciales y campos electromagnéticos
- Transformaciones gauge

Materiales:

- Ondas electromagnéticas en la materia: respuestas lineal dieléctrica y diamagnética
- Absorción y dispersión
- Velocidades de fase y grupo
- Reflexión y refracción con condiciones de frontera

Radiación:

- Solución general a la ecuación de onda en el vacío, en presencia de fuentes localizadas
- Expresión de los campos en la zona de radiación para fuentes sinusoidales localizadas
- Aproximación dipolar
- Patrones de radiación sencillos
- Fórmula de Larmor de potencia radiada
- Dispersión de Rayleigh

Relatividad especial:

- Cinemática relativista
- Dinámica relativista
- Formulación covariante del electromagnetismo

Bibliografía:

J.D. Jackson, Classical Electrodynamics, Wiley, tercera edición, 1999.

L.D. Landau, E. Lifshitz, Teoría Clásica de los Campos, Reverté, segunda edición, 1981.

David J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, Cambridge University Press, 4th Edición, 2017.

5.1.7.3. Mecánica Estadística:***Física térmica:***

- Primera Ley de la termodinámica,
- Procesos reversibles e irreversibles,
- Máquinas y refrigeradores,
- Segunda ley de la termodinámica, entropía, entalpía, potenciales termodinámicos,
- Relaciones de Maxwell, relaciones de Gibbs.
- Ecuación de Clausius-Clapeyron,
- Transiciones de fase, diagramas de fase.

Teoría cinética de gases:

- Ecuación cinética de estado de un gas,
- Camino libre medio,
- Ecuación de Boltzmann,
- Distribución de velocidades de Maxwell-Boltzmann,
- Movimiento Browniano,
- Funciones de distribución,
- Teoría elemental de transporte (coeficientes de difusión, conducción de calor, entre otras)

Conjuntos estadísticos en equilibrio:

- Distribuciones de probabilidad,
- Entropía de Boltzmann-Shannon,
- Principios de máxima entropía para sistemas cerrados en equilibrio térmico,
- Teorema de límite central,
- Ensembles microcanónicos y su correlación con la termodinámica.
- Paradoja de Gibbs,
- Conjuntos gran-canónico y microcanónico.

Derivación de ensambles en equilibrio usando multiplicadores de Lagrange:

- Sistemas de dos niveles (redes de gases, paramagnetos),
- Gases diluidos,
- Teorema de equipartición,
- Ley de Dulong-Petit

Mecánica estadística cuántica:

- Estadística de Bose y Fermi
- Ecuación de Boltzmann
- Densidad de estados
- Calor específico de moléculas
- Calor específico de sólidos según Debye
- Gases ideales de fermiones y bosones
- Descripción de Sommerfeld de metales
- Radiación de cuerpo negro
- Condensados de Bose-Einstein

Sistemas interactuantes y transiciones de fase:

- Modelo de Ising, Campo medio
- Exponentes críticos
- Teoría de Landau
- Parámetro de orden

Bibliografía:

- K. Huang, Statistical Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., segunda edición, 1987.
R. Kubo, M. Toda y N. Saitô, Statistical Physics I, Equilibrium Statistical Mechanics, Springer Berlin Heidelberg, 2012.
R. Kubo, M. Toda y N. Hashitsume, Statistical Physics II, Nonequilibrium Statistical Mechanics, Springer Berlin Heidelberg, 2012.
D. A. McQuarrie, Statistical Mechanics, Viva Books Private Limited, 2003.
F. Reif, Fundamentals of statistical and Thermal Physics, McGraw-Hill, 1965.
L. Landau y E. Lifchitz, Course of theoretical physics, vol 5: Statistical Physics. Butterworth-Heinemann, tercera edición, 1980.

5.1.7.4. Mecánica Analítica:

Mecánica Newtoniana:

- Leyes de conservación
- Fuerzas centrales
- Orbitas y Scattering
- Sistemas de coordenadas rotantes
- Movimiento de proyectiles
- Péndulo de Foucault

Dinámica Lagrangiana:

- Coordenadas generalizadas
- Movimientos con restricciones
- Ecuaciones de Lagrange
- Multiplicadores de Lagrange
- Principio variacional

Pequeñas oscilaciones:

- Modos normales
- Modelos de osciladores armónicos interactuantes en 1, 2 o 3 dimensiones con diferentes condiciones de frontera
- Osciladores forzados

Mecánica de Hamilton:

- Relaciones entre Lagrangianos y Hamiltonianos
- Ecuaciones de Hamilton
- Cantidades que se conservan en un Hamiltoniano
- Transformaciones canónicas, teorema de Liouville
- Variables angulares de acción
- Ecuación de Hamilton - Jacobi
- Pequeñas oscilaciones

Movimiento de rotación:

- Tensor momento de inercia
- Ecuaciones de Euler
- Dinámica giroscópica básica

Bibliografía:

H. Goldstein, Classical Mechanics, 3rd ed, Addison-Wesley, 2001.

F. Scheck, Mechanics 5th Edition, Springer, 2011 - Disponible en línea desde la Universidad via SpringerLink (<http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-05370-2/page/1>)

J. V. José y E. Saletan, Classical Dynamics: A Contemporary Approach, Cambridge, 1998

V. I. Arnold, Mathematical Methods of Classical Mechanics, 2nd ed, Springer, 1989

L. Hand and J. D. Finch. Analytical Mechanics, Cambridge, 1998

5.2. Examen de Candidatura

5.2.1. Definición Examen de Candidatura:

El Examen de Candidatura consiste en un documento escrito y una presentación oral en la que se evalúan:

1. La propuesta de investigación a desarrollar en su tesis doctoral.
2. El potencial del estudiante para realizar el trabajo de investigación propuesto.

El resultado de este examen corresponde a la calificación del curso “Examen de Candidatura, FISI-6972”. Este curso es de 5 créditos y debe inscribirse no más allá del tercer semestre después de aprobado el Examen de Conocimientos. El curso Investigación 2 es co-requisito del curso Examen de Candidatura.

La presentación oral del Examen de Candidatura puede tener lugar en cualquier momento del semestre académico en el que el estudiante tenga inscrito el curso Examen de Candidatura FISI 6972 teniendo como máxima fecha el último día de exámenes finales estipulado en el calendario académico por la Oficina de Admisiones y Registro.

5.2.2. Requisitos para la presentación del Examen de Candidatura

1. Haber aprobado el nivel de inglés IPD2 antes de inscribir el curso FISI 6972 Examen de Candidatura.
2. Tener inscrito el curso Examen de Candidatura FISI 6972 para poder hacer su presentación oral.
3. Informar al CPIFIS la fecha tentativa de la presentación oral con al menos dos meses de anticipación teniendo como máxima fecha el último día de exámenes

finales estipulado en el calendario académico por la Oficina de Admisiones y Registro.

4. Entregar los siguientes documentos al momento de informar al CPIFIS la fecha de presentación oral:
 - a. Resumen de la propuesta
 - b. Lista de al menos tres posibles evaluadores externos al programa doctoral y tres posibles evaluadores del Departamento de física
5. Entregar el documento escrito al menos tres semanas antes de realizar la presentación oral con el aval del comité asesor de tesis.

5.2.3. Jurado del Examen de Candidatura

El Examen de Candidatura será evaluado por un jurado compuesto por un especialista externo y otro interno de la Universidad, sugeridos por el director de tesis y aprobados por el CPIFIS.

Los jurados revisan el documento de la propuesta de investigación, considerando redacción, planteamiento científico de la propuesta, estado del arte, objetivos y su especificidad, viabilidad, cronograma, bibliografía, etc. Para este ejercicio los miembros del jurado disponen de máximo tres semanas.

5.2.4. Formato de la propuesta a evaluar en el Examen de Candidatura

a. Documento Escrito

La propuesta de investigación debe ser un documento escrito por el estudiante, avalado por el comité asesor (ver sección 6.2 para definición del comité asesor). El documento debe tener entre 3000 y 6000 palabras de extensión, conteniendo los puntos usuales de un plan de investigación. Con este propósito el estudiante puede consultar los puntos a desarrollar en los formatos para la presentación de proyectos de investigación en la Facultad de Ciencias. Como un mínimo de puntos se sugiere:

1. Título y presentación
2. Resumen
3. Planteamiento de la pregunta científica y su justificación dentro del estado del arte
4. Diseño de la investigación:
 - a. Planteamiento de objetivos y su relación con la pregunta científica.
 - b. Descripción de la aproximación metodológica que se utilizará para lograr cada uno de los objetivos planteados.
5. Consideraciones éticas
6. Cronograma tentativo
7. Bibliografía

b. Sustentación Oral

La presentación oral del Examen de Candidatura puede tener lugar en cualquier momento del semestre académico, después de haber entregado el documento escrito,

teniendo como máxima la fecha de entrega final de calificaciones estipulada por la Oficina de Admisiones y Registro.

El estudiante dispone de máximo 30 minutos para la presentación oral pública de la propuesta. La exposición se hace en presencia del jurado, de su director de tesis y de un moderador quien es miembro y actúa a nombre del CPIFIS. Dependiendo del caso los jurados pueden asistir de manera virtual a la presentación.

Los miembros del jurado hacen preguntas sobre la propuesta. El director del estudiante puede intervenir para aclarar dudas, completar algunas de las respuestas dadas por el estudiante o hacer observaciones pertinentes sobre el plan de investigación. Después de las preguntas del jurado y de la intervención del director, son bienvenidas las preguntas del público presente. El moderador cuida que el tiempo efectivo de la sustentación no exceda 90 minutos de duración.

Cumplidos los hechos descritos anteriormente, el jurado y el director se reúnen en privado y completan el formato del acta del Examen de Candidatura. De esta forma se emite la calificación final de Aprobado o Reprobado por parte del jurado.

El moderador informa la calificación obtenida al estudiante y entrega el acta, firmada por el jurado y el director, en la secretaría de posgrado del Departamento de Física. Una vez se aprueba el Examen de Candidatura, el estudiante debe inscribir en el siguiente periodo académico el curso Tesis I.

5.2.5. Calificación del Examen de Candidatura:

La calificación del Examen de Candidatura y por lo tanto del curso FISI 6972 es Aprobado o Reprobado. Si en una primera oportunidad el estudiante no aprueba este Examen, habrá solamente una oportunidad adicional para aprobarlo, tomando de nuevo el curso en el siguiente semestre. Agotadas las dos oportunidades, sin la debida aprobación del Examen de Candidatura, el estudiante quedará excluido del Programa de Doctorado.

6. De la Dirección de la Tesis

Al finalizar su segundo año matriculado en el programa, cada estudiante de doctorado que haya aprobado el examen de conocimientos tendrá un director de tesis avalado por el CPIFIS. Es obligatorio tener un director de tesis para inscribir el curso FISI 6201 Investigación I.

El Director de Tesis es un profesor de planta del Departamento de Física habilitado, de acuerdo con lo descrito en el RGED, para dirigir tesis doctorales en Ciencias – Física. También será posible la dirección de tesis bajo el esquema de codirección (siguiendo los lineamientos del RGED), en cuyo caso al menos uno de los codirectores deberá ser profesor de planta del departamento de física. En el caso en que el codirector sea profesor de planta del departamento de física, este deberá asumir todas las responsabilidades designadas al Director de Tesis especificadas en este documento.

El Director de Tesis tiene la responsabilidad de trabajar estrechamente con el estudiante y ofrecerle su apoyo como guía académico con el fin de garantizar que su rendimiento en el programa sea óptimo. En todo caso, la principal responsabilidad recae siempre en el estudiante, de quien se espera un alto rendimiento en el programa reflejado en su nivel de iniciativa y diligencia en el cumplimiento de sus deberes de investigación.

Las funciones del director de Tesis están detalladas en el artículo 36 del RGED e incluyen las siguientes labores administrativas:

- Recomendar preinscripciones, inscripciones o retiros de cursos
- Avalar el plan de actividades y el informe semestral presentados por el estudiante en ACADEMIA
- Asesorar al estudiante en los diferentes aspectos de la vida universitaria

7. Del seguimiento del trabajo doctoral

7.1. Del seguimiento del trabajo doctoral por parte del director de tesis

Una vez el estudiante inscribe el curso Investigación 1, el rendimiento académico del estudiante se evaluará cada semestre por el director de tesis a través del trabajo del estudiante en los diferentes cursos de seminario avanzado y los informes presentados en la plataforma ACADEMIA de la Universidad de los Andes.

El director de tesis está encargado de asignar la calificación final de los cursos de Seminario avanzado, Investigación 1 y 2 y Tesis. Se requiere que el estudiante haya presentado el plan de trabajo al inicio del semestre y el informe semestral al final de dicho semestre en la plataforma ACADEMIA para la asignación de nota definitiva de los cursos Investigación 1 y 2 y Tesis.

7.2. Del comité asesor de tesis doctoral

Cuando el estudiante tenga nombrado un director de tesis, este asesor y el estudiante elegirán un comité asesor de tesis doctoral, de acuerdo con el artículo 37 del RGED. Este comité será presentado al CPIFIS para su aprobación.

Las funciones de este comité asesor se estipulan en el artículo 38 del RGED. La conformación del comité debe reportarse a la coordinación de posgrado en el semestre en el que el estudiante tiene inscrito el curso FISI 6201 Investigación 1, a más tardar al finalizar la octava semana. Este comité debe reunirse como mínimo 3 veces durante el tiempo de ejecución del doctorado previa convocatoria por parte del estudiante. La primera de estas reuniones es requisito para inscribir el curso Examen de Candidatura, la segunda de estas reuniones es requisito para inscribir el curso Tesis II y la tercera de estas reuniones es requisito para inscribir el curso Sustentación de Tesis. De cada una de estas reuniones debe entregarse un acta de seguimiento a la coordinación de posgrado.

En caso de presentarse alguna novedad en la conformación del comité asesor debe informarlo a la coordinación de posgrado.

8. De la Pasantía

Estadía de mínimo un semestre académico en una universidad y/o centro de investigación avanzada, que le permita al estudiante de doctorado un enriquecimiento vivencial al apreciar y ganar experiencia sobre el desarrollo de la ciencia en otros contextos, tomando parte en las actividades que le son propias, como seminarios, cursos avanzados e investigación.

El desempeño académico del estudiante durante la pasantía resulta en la calificación del curso “Pasantía, FISI-6971”. El estudiante debe inscribir este curso en el semestre en el que realizará la pasantía. La pasantía puede realizarse en varias etapas hasta completar por lo menos el equivalente a un semestre académico. En el caso en que la pasantía sea intermitente el estudiante debe solicitar autorización al CPIFIS para cada una de las etapas en las que realice su pasantía y debe inscribir el curso en el periodo académico en el que completa la pasantía.

La inscripción del curso “Pasantía, FISI-6971” debe ser avalada por el CPIFIS de acuerdo con los requisitos establecidos en el capítulo VIII artículo 49. Para autorizar una pasantía, el comité de doctorado deberá recibir el programa de trabajo que se adelantará y una comunicación escrita de la institución receptora, en la que se especifique la voluntad de recibir al estudiante, previamente avalado por el comité asesor de tesis doctoral. Durante el curso pasantía el pago de la matrícula corresponde al 10% del valor total.

Además de lo contenido en el RGED sobre las pasantías, capítulo VIII artículo 49, en el presente instructivo se estipula que el estudiante solo puede matricular, con la autorización de su director de tesis, el curso de Pasantía después de aprobar el Examen de Conocimientos, y antes de la sustentación de la tesis doctoral. La calificación de este curso es Aprobada o Reprobado. La calificación del curso Pasantía la otorga el director y el investigador, o investigadores, de la otra institución que hayan supervisado las labores desarrolladas por el estudiante durante su estadía previo concepto recibido por escrito al ICPFIS. La reprobación del curso de Pasantía deja al estudiante excluido del programa de Doctorado en Ciencias – Física, previo estudio del informe respectivo que el director del estudiante debe pasar al CPIFIS. El comité se pronuncia formalmente sobre la permanencia del estudiante en el Programa e informa al asesor y al estudiante por escrito.

Es posible realizar más de una pasantía durante el doctorado. En este caso para cada pasantía debe realizarse un proceso similar al descrito para inscribir el curso Pasantía FISI-6971. Para cada pasantía que se vaya a realizar debe inscribirse el curso FISI-697X donde X cambia de acuerdo con el número de la pasantía que se va a realizar.

9. Del Trabajo de Tesis

Después de aprobar el examen de candidatura, el estudiante se concentra en el trabajo de tesis, el cual debe ser un aporte original al conocimiento. Además, debe tener méritos para generar publicaciones en revistas especializadas de reconocido valor científico internacional.

El último requerimiento del Programa consiste en la entrega de un documento escrito y la sustentación oral y pública de la tesis, según lo contemplado en el RGED.

La sustentación oral de la Tesis de doctorado puede tener lugar en cualquier momento del semestre académico en el que el estudiante tenga inscrito el curso Sustentación de Tesis FISI 6990 teniendo como máxima fecha el último día de exámenes finales estipulado en el calendario académico por la Oficina de Admisiones y Registro.

El resultado de esta sustentación corresponde a la calificación aprobado o reprobado del curso “Sustentación de Tesis, FISI-6990”. Este curso es de 0 créditos.

9.1. Requisitos para la presentación de la sustentación del trabajo de tesis doctoral

1. Tener una publicación enviada a una revista internacional indexada relacionada con su trabajo de tesis.
2. Tener todos sus cursos aprobados.
3. Tener inscrito el curso sustentación de tesis FISI-6990
4. Haber aprobado el nivel IPD3 de inglés.
5. Informar al CPIFIS la fecha tentativa de la sustentación oral con al menos dos meses de anticipación teniendo como máxima fecha el último día de exámenes finales estipulado en el calendario académico por la Oficina de Admisiones y Registro.
6. Entregar los siguientes documentos al momento de informar la fecha de sustentación al CPIFIS:
 - a. Título y resumen de la tesis
 - b. Lista de al menos tres posibles evaluadores externos al programa doctoral y tres posibles evaluadores del Departamento de física
7. Entregar el documento de tesis escrito al menos cuatro semanas antes de realizar la presentación oral con el aval del comité asesor de tesis.

9.2. Jurado del trabajo de tesis doctoral

De acuerdo con el artículo 48 del RGED, el jurado de tesis doctoral estará conformado por los miembros del comité asesor de tesis doctoral, al menos dos especialistas: uno de la Universidad de los Andes, habilitado para dirigir tesis doctorales, y otro externo al programa doctoral o a esta Universidad aprobados por el CPIFIS.

Los dos jurados especialistas revisan el documento de tesis. Para este ejercicio los miembros del jurado disponen de máximo cuatro semanas y emiten un concepto por escrito al CPIFIS sobre el trabajo de grado.

9.3. Formato del trabajo de tesis doctoral

9.3.1. Documento Escrito

El documento de tesis debe estar redactado en castellano o inglés claro y correcto y poseer la organización formal propia de un trabajo científico, avalado por el director de tesis. El documento final debe entregarse, en versión electrónica, cuatro semanas antes de la fecha fijada para la sustentación. En caso de que un jurado requiera una copia en físico es deber del estudiante entregar el documento al jurado.

9.3.2. Sustentación Oral

La sustentación oral puede tener lugar en cualquier momento del semestre académico, después de haber entregado el documento escrito, teniendo como máxima la fecha de entrega final de calificaciones estipulada por la Oficina de Admisiones y Registro.

El estudiante dispone de máximo 45 minutos para la sustentación oral pública. La exposición se hace en presencia del jurado y de un moderador quien es miembro y actúa a nombre del CPIFIS. Dependiendo del caso los jurados pueden asistir de manera virtual a la presentación.

Una vez finaliza la presentación el moderador procederá a citar a los miembros del jurado para que realicen sus preguntas. Posteriormente abrirá el espacio para las preguntas de los demás asistentes a la sustentación. El moderador cuidará que la duración de la sustentación no exceda dos horas en total.

Al finalizar la sustentación de la tesis los jurados se reunirán en privado y asignarán una nota (Aprobado o Reprobado) de común acuerdo en presencia del moderador de la sesión. Al finalizar esta reunión se elabora y se firma el acta de la sustentación de la tesis. El moderador informa la calificación obtenida al estudiante y entrega el acta, firmada por el jurado, en la secretaría de posgrado del Departamento de Física.

9.4. Calificación de la Sustentación de Tesis

De acuerdo con el artículo 48 del RGED la calificación del curso Sustentación de Tesis FISI 6990 es Aprobado o Reprobado. Si el estudiante obtiene por primera vez la nota Reprobado en la sustentación de su tesis, quedará en estado de prueba académica. Si el estudiante obtiene por segunda vez la nota Reprobado en la sustentación de su tesis, quedará definitivamente excluido del programa.

9.5. Requisito de publicación

El programa de Doctorado en Ciencias-Física exigirá en todos los casos como mínimo requisito para el grado, una certificación de un artículo científico enviado a una revista internacional indexada derivado del desarrollo de la tesis de doctorado. Dada la

naturaleza heterogénea de los grupos de investigación y sus dinámicas de publicación, el estudiante podrá cumplir con este requisito de las siguientes formas:

1. En el caso de contar con un artículo publicado, debe enviar el DOI vía correo electrónico a la coordinación de posgrado con copia al director de tesis, quien debe dar su visto bueno.
2. Entregará a la coordinación académica de posgrado la constancia de sometimiento de la publicación con la debida aprobación de su director de tesis.
3. En los casos excepcionales en donde el proceso de sometimiento exceda el plazo estipulado para cumplimiento de requisito de grado, el estudiante podrá, previa aprobación del director de tesis y comité asesor, solicitar al CIPFIS aval del requisito de publicación.

10. De los estudiantes extranjeros

Los estudiantes extranjeros pueden solicitar al CIPFIS el pago de los trámites de visado al momento de ingreso al programa y una vez hayan aprobado el examen de conocimientos. La aprobación de dicha solicitud está sujeta a la disponibilidad presupuestal del Departamento de Física.

11. De los requisitos de grado

La Universidad de los Andes conferirá el título de Doctor en Ciencias - Física a aquellos estudiantes inscritos en el Programa de Doctorado que cumplan con los siguientes requisitos:

1. Haber cursado y aprobado todas las materias válidas exigidas por el Programa, sumando un número de créditos no menor a ochenta y dos (82), ya sea por cursos obligatorios, opcionales, seminarios y tesis. Los créditos de cursos de Tesis (FISI 698X) deben sumar mínimo treinta y tres (33).
2. Haber demostrado el dominio del idioma inglés alcanzando el nivel exigido por el Departamento, IPD 3.
3. Haber aprobado el Examen de Conocimientos y el de Candidatura.
4. Haber cumplido con la pasantía obligatoria mínima.
5. Aval del requisito de publicación (Ver sección 9.5)
6. Haber recibido la aprobación de la tesis por parte del Jurado de Tesis.
7. Aprobar el curso sustentación de tesis en los periodos de tiempo establecidos en el art. 139 del RGED.
8. Haber satisfecho los otros requisitos que exija el RGED.

INFORMACIÓN SOBRE REGLAMENTOS CITADOS EN ESTE DOCUMENTO

La versión actualizada del Reglamento General de Estudiantes de Doctorado de la Universidad de los Andes debe ser consultada siempre en: <http://secretariageneral.uniandes.edu.co>

La versión actualizada del Reglamento de Estudiantes de Doctorado de la Facultad de Ciencias debe ser consultada siempre en:

<https://ciencias.uniandes.edu.co/es/facultad/reglamentos-convocatorias#gsc.tab=0>

Por su parte, la versión actualizada del Instructivo para Estudiantes de Doctorado en Física debe ser consultada siempre en:

<https://fisica.uniandes.edu.co/sites/default/files/documents/programs/phd-physics/InstructivoDoctoradoFisica-Junio2021.pdf>