



**Doctorado en Ciencias Físicas**  
*Programa Conjunto*  
*Universidad Técnica Federico Santa María*  
*Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*



## Anexo 2

Reglamento Interno del Programa Conjunto

Doctorado en Ciencias Físicas

---



## **REGLAMENTO INTERNO DEL PROGRAMA CONJUNTO**

**UTFSM / PUCV**

**“DOCTORADO EN CIENCIAS FÍSICAS “**

Aprobado por Comité de Coordinación Desarrollo de Investigación, Innovación y Postgrado (CCDIIP) de la Universidad Técnica Federico Santa María y la Vicerrectoría de Investigación y Estudios Avanzados (VRIEA) de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
18-10-2018 (modificado 12-11-18 y 26-12-18)

---

Dada la naturaleza del trabajo académico y en pos de un mejoramiento continuo, el presente reglamento será revisado y sancionado por el CCDIP de la UTFSM y por la VRIEA de la PUCV anualmente. Si se registraren cambios esenciales, éstos aplicarán solamente a nuevas cohortes de estudiantes/alumnos.

## INTRODUCCIÓN

Art. 1 El Programa de Doctorado en Ciencias Físicas (o Programa en adelante), es un programa impartido en conjunto por el Departamento de Física de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) y el Instituto de Física de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), a contar del año 2000 como consta en Decreto de Rectoría Académico N° 44/2000 de la PUCV. En la UTFSM el programa existe desde el año 1992, aprobada su creación como Doctorado en Ciencias mención Física por el Consejo Superior en sesión N° 8 del 26 de noviembre de 1992, Acuerdo N° 62.

Información respecto de reconocimientos y acreditación nacional se especifican en el Anexo N° 1 del presente reglamento.

Art. 2 El Programa Conjunto de Doctorado se desarrollará de acuerdo a las políticas y reglamentos de Postgrado de la UTFSM y la PUCV, y se regirá por el presente Reglamento.

## TÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES

Art. 3 Objetivos del Programa y perfil del graduado:

Formar graduados capaces de abordar los desafíos científicos, impuestos por el permanente desarrollo global y contribuir de manera sustantiva a la comprensión de nuestro entorno natural y su transformación, aplicando en ello soluciones científicas o tecnológicas orientadas a mejorar la calidad de vida de la humanidad.

Nuestro graduado estará, por lo tanto, capacitado para realizar investigación en física de manera individual y en colaboración, continuar su permanente formación en temas en la frontera del conocimiento, guiar discípulos en su formación como científicos y liderar grupos de investigación básica o aplicada.

Art. 4 Áreas de especialización del Programa:

- Astrofísica, cosmología y gravitación
- Partículas y campos
- Materia condensada
- Sistemas complejos

Art. 5 Régimen del Programa:

El Plan de Estudio se imparte en régimen de jornada completa. El estudiante/alumno debe tener una permanencia activa mínima en el Programa equivalente a 150 créditos SCT-Chile (5 semestres), en modalidad de jornada completa. La permanencia máxima del estudiante/alumno en el Programa es 12 semestres.

## **TÍTULO II: DE LA ADMINISTRACIÓN DEL PROGRAMA**

Art. 6 Existirá un Comité de Programa (en adelante CP), formado por el Director del Programa, el Director alterno, y dos académicos de cada institución. La constitución actual de este comité se especifica en el Anexo N° 2. Estos profesores serán nombrados por el Consejo del Departamento de Física de la UTFSM y por el Instituto de Física de la PUCV respectivamente, de entre los miembros del Cuerpo de Directores de Tesis del Programa (CDTP), y permanecerán por un período de dos años renovables.

Art. 7 El CP tiene como misión fundamental cautelar el buen funcionamiento del Programa de Doctorado Conjunto; lo que incluye actualizar anualmente el cuerpo de profesores del programa, entre ellos se incluyen los Profesores Colaboradores, Visitantes y el CDTP. Le corresponde además pronunciarse sobre vacantes de ingreso y de ser requerido, velar por la asignación armónica de becas para todos los estudiantes/alumnos del Programa.

Además corresponde al CP decidir de acuerdo a las normativas institucionales respecto de:

- a) Aprobación de los programas de estudios y de homologaciones y/o convalidaciones correspondientes a cada postulante o candidato
- b) Aprobación del tema de tesis de cada postulante o candidato.
- c) Nominación de miembros de comisiones evaluativas y comités de tesis cuya competencia no sea de otras instancias.
- d) Pronunciarse sobre solicitudes académicas de los estudiantes/alumnos.
- e) Aplicar los mecanismos establecidos de evaluación al Programa.
- f) Participar en las actualizaciones de los planes de desarrollo de las unidades con tuición sobre el Programa: Departamento de Física de la UTFSM e Instituto de Física de la PUCV.

- g) Exponer ante el cuerpo académico del Programa situaciones de conflicto académico o disciplinario que se presentaren, para una adecuada resolución
- h) Nombrar el Comité de Admisión.
- i) Nombrar los profesores coordinadores de cada Área de Especialización.

Otras competencias o actos, de índole académico, necesarios para la buena marcha del Programa, corresponden a las atribuciones del Director del Programa.

El CP se reúne al menos una vez al semestre. Sus decisiones son adoptadas por consenso o mayoría absoluta, reflejadas en un Acta de la sesión. Los miembros del CP se encuentran indicados en Anexo N° 2.

Art. 8 La autoridad ejecutiva del Programa conjunto es el Director, el cual es nombrado por el CP de entre los respectivos Directores o Coordinadores de postgrado de cada institución, responsables de la coordinación del Programa de Doctorado en Física dentro de su respectiva Unidad (Instituto de Física en la PUCV, Departamento de Física en la UTFSM). El otro Director actuará como Director alterno.

### **TÍTULO III: DE LOS PROFESORES DEL PROGRAMA**

#### **Profesores del Programa o Claustro del Programa**

Art. 9 Podrán ser parte del Claustro de Profesores regulares del programa, los académicos jornada completa del Departamento de Física de la UTFSM y del Instituto de Física de la PUCV, preferentemente con grado de doctor, que pertenezcan a las dos más altas jerarquías académicas y tengan una reconocida productividad académica atingente al área.

El CP podrá además invitar a formar parte del Claustro de Profesores del Programa a: *Profesores colaboradores* y *Profesores visitantes*.

Los *Profesores colaboradores* son integrantes de la planta académica, con grado de doctor, que pertenecen a la primera jerarquía de profesor (Profesor Auxiliar o Profesor Asistente) o forman parte de la planta de Investigadores en cada institución y

poseen una productividad en investigación comparable a aquella de los profesores regulares del programa.

Los *Profesores Visitantes* son aquellos con dependencia contractual en instituciones distintas a la PUCV y la UTFSM y que posean una reconocida trayectoria académica, que amerite invitarlos a formar parte del claustro para realizar tareas específicas.

### **Cuerpo de Directores de Tesis**

Art. 10      Será un requisito mínimo para pertenecer al Cuerpo de Directores de Tesis del Programa (CDTP), ser parte del Claustro de Profesores del Programa y estar contribuyendo a la generación de nuevo conocimiento, demostrable en forma cuantitativa a través de publicaciones indexadas. Para ser habilitados como directores de tesis los miembros del Claustro deberán tener una productividad científica de al menos 5 artículos ISI y haber dirigido un Proyecto de Investigación con financiamiento externo en los últimos 5 años.

Una tesis podrá ser guiada por Profesores que no pertenezcan a las dos más altas jerarquías académicas, por Investigadores o Profesores Visitantes, previo a ser aprobados por el CP, cuando los méritos del ellos sean comparables a los profesores del CDTP.

Para efectos administrativos cada una de las Áreas de Especialización del programa estará representada por un profesor coordinador de área, nombrado por el CP.

El listado de Profesores del programa y su condición de integrante del CDTP se encuentra en Anexo N° 3.

## TÍTULO IV: DE LA ADMISIÓN

Art. 11 La evaluación de los antecedentes académicos de los postulantes al programa de doctorado, será realizada por el Comité de Admisión (CA). Éste estará conformado por dos profesores del CDTP de cada universidad (Anexo N° 2).

Art. 12 El CA evaluará los postulantes considerando las calificaciones de pregrado o postgrados, la carta de interés del postulante, cartas de recomendación, publicaciones, participación en proyectos científico-tecnológicos, y otras consideraciones académicas. El CA entregará una lista priorizada de postulantes al CP, que decidirá finalmente sobre la aceptación o rechazo de las postulaciones, resguardando que exista un adecuado equilibrio entre el número de estudiantes/alumnos aceptados y el total de recursos disponibles.

Art. 13 La evaluación de los antecedentes de los postulantes se realizará considerando los siguientes criterios con las correspondientes ponderaciones:

Antecedentes académicos:	60%
Cartas de recomendación	25%
Carta de interés y motivación:	15%

Se considera adicionalmente evaluar aspectos como participación en publicaciones y presentaciones a congresos, ejercer docencia y participar en investigación con un puntaje adicional que puede alcanzar al 20% del puntaje total definido en los criterios anteriores.

Cada uno de los criterios serán evaluados con calificaciones que van desde 1 a 5 puntos y corresponden a los siguientes conceptos:

Excelente:	5
Muy Bueno:	4
Bueno:	3
Regular:	2
Deficiente:	1

Para ser admitido al programa se requiere un puntaje mínimo 3.7. La admisión en caso de situaciones límites en torno a este puntaje serán resueltas por el pleno del CP.

Art. 14 El requisito básico para ser admitido en el Programa es estar en posesión del grado de Licenciado o Magister en Física, o en disciplinas afines. El CP podrá autorizar excepcionalmente,

mediante resolución, el ingreso de personas que se encuentren en trámites finales de graduación o situaciones académicas que lo ameriten, estando su aceptación definitiva supeditada a la obtención del grado correspondiente, de conformidad al procedimiento que para el efecto, apruebe el CP, con un plazo máximo de un semestre.

- Art. 15 El ingreso al Programa es semestral y la postulación se recibe en cualquiera de las instituciones que imparten el Programa. El postulante deberá presentar los antecedentes solicitados (ver Anexo N° 4), debidamente certificados, dentro de los plazos previstos y adjuntar los respectivos formularios de postulación.

## **TÍTULO V: DEL PLAN DE ESTUDIO Y DESARROLLO DEL PROGRAMA**

- Art. 16 El Plan de Estudio del Programa (Anexo N° 5) consta de 300 créditos SCT-Chile, distribuidos de la siguiente manera:
- Un Programa de Estudios compuesto por asignaturas obligatorias de formación general y asignaturas de especialidad y tópicos especiales, que tienen un total de 120 créditos SCT-Chile.
  - El Trabajo de Tesis, que tiene un total de 180 créditos SCT-Chile.

Además, se exige un Examen de Calificación, un Examen Oral de avance del tema de tesis y un Examen de Grado.

- Art. 17 Todas las asignaturas del Programa de Estudios (Anexo N° 6) son evaluadas con nota 0 a 100 en la UTFSM y 1,0 a 7,0 en la PUCV, siendo la nota mínima de aprobación un 70 (UTFSM) o 5,2 (PUCV). La tabla de equivalencia de notas entre dos escalas se encuentra en el Anexo N° 7. Se aceptará como máximo una sola reprobación de asignaturas durante el Programa de Estudios.

- Art. 18 Un estudiante/alumno del Programa podrá solicitar la convalidación/ homologación de hasta el 50% de los créditos de asignaturas a nivel de postgrado de su Programa de Estudios, cursadas en otros programas o instituciones.

## **TÍTULO VI: DEL EXAMEN DE CALIFICACIÓN**

Art. 19 Después de aprobadas y/o convalidadas las asignaturas obligatorias para el doctorado, el estudiante/alumno deberá rendir un Examen de Calificación. Este es un examen escrito de conocimientos sobre las cuatro materias básicas: Mecánica Clásica, Mecánica Cuántica, Electrodinámica y Mecánica Estadística. El Examen de Calificación se llevará a efecto ante una Comisión de Calificación, integrada al menos por dos profesores del Programa nominados por el CP.

El estudiante/alumno podrá rendir este examen más de una vez, cómo máximo en 3 oportunidades, pero deberá tenerlo aprobado al término del tercer año de permanencia en el Plan de Estudio. La aprobación de este examen será requisito indispensable para continuar como estudiante/alumno del Programa de Doctorado, en calidad de Candidato a Doctor.

## **TÍTULO VII: DE LA TESIS Y EXAMEN DE GRADO**

### **Tesis de Grado**

Art. 20 Una vez aprobado el Examen de Calificación, el Candidato a Doctor deberá inscribir su tema de Tesis bajo la supervisión de un profesor que pertenezca al CDTP. La Tesis de Grado consistirá en un trabajo de investigación original en la línea de especialización escogida por el estudiante/alumno. Esta deberá representar una contribución significativa del estudiante/alumno al desarrollo de nuevo conocimiento en el ámbito de la ciencia o la tecnología. La aceptación editorial de al menos una publicación indexada producto de la Tesis de Grado, es una condición para presentar formalmente el escrito de la Tesis de Grado.

### **Examen Oral de Avance de Tesis**

Art. 21 Para la aprobación del tema de Tesis el estudiante/alumno deberá aprobar un Examen Oral de Avance de Tesis, el cual deberá rendir antes del término del cuarto año de ingreso al Plan de Estudio. Este examen será rendido ante una Comisión de Tesis integrada por tres profesores nominados por el CP y que incluirá al Profesor Director de la Tesis y al menos un académico externo a las Universidades PUCV y UTFSM experto en el área.

## **Examen de Grado**

Art. 22 El Examen de Grado será público y consistirá en una presentación y defensa oral de la Tesis, previo a que ésta haya sido aprobada de acuerdo con el procedimiento descrito en el artículo 20. Esta presentación, en conjunto con el escrito de la Tesis, será evaluada por la Comisión de Tesis.

La calificación mínima de aprobación del Examen de Grado será un 85 (UTFSM) o un 6,0 (PUCV). Si la calificación fuese menor, la Comisión de Tesis, dentro de los 5 días hábiles siguientes al Examen de Grado, determinará conceder o no una última oportunidad para que el Candidato al grado rinda el Examen nuevamente en un determinado plazo.

## **TÍTULO VIII: DEL GRADO ACADÉMICO**

Art. 23 Una vez cumplidas por parte del estudiante/alumno todas las exigencias de graduación del Programa, la universidad en la cual el estudiante/alumno se encuentra matriculado, le otorgará el grado académico de “Doctor en Ciencias Físicas”. (Vigente hasta inicio de Convenio del Programa en Consorcio.)

Art. 23\* Una vez cumplidas por parte del estudiante/alumno todas las exigencias de graduación del Programa, ambas Universidades le otorgarán el grado académico de “Doctor en Ciencias Físicas”, este acto se certificará mediante un único diploma que lleve impreso los respectivos escudos institucionales y en su texto se indique que se trata de un Programa en Consorcio impartido por la UTFSM y la PUCV. (Art. 23\* reemplaza al Art. 23 al entrar en vigencia el Convenio del Programa en Consorcio) .

## **TÍTULO IX: DE LA RESPONSABILIDAD DEL PRESENTE REGLAMENTO**

Art. 24 La responsabilidad de la aplicación de las disposiciones contenidas en el presente Reglamento al interior del Programa, será del Director del Programa.

Art. 25 La responsabilidad de resolver sobre situaciones reglamentarias no previstas en el presente reglamento recae en el CP.

---

# ANEXOS

---

- 1.- Acreditación Nacional
- 2.- Integrantes Comité de Programa y Comité de Admisión
- 3.- Cuerpo de Profesores del Programa de Doctorado
- 4.- Antecedentes para Admisión
- 5.- Plan de Estudios
- 6.- Programas de Asignaturas
- 7.- Escala de Notas
- 8.- Infraestructura

## Anexo N° 1

### **Acreditación Nacional y Reconocimientos**

El Programa está acreditado nacionalmente desde el 18 de octubre de 2000 (CONAP ST-079, CONAP ST-172), y reacreditado desde el 8 de julio 2009 por un período de 10 años.

## Anexo N° 2

### **Integrantes del Comité de Programa y Comité de Admisión 2018**

Los miembros del Comité de Programa del Doctorado Conjunto (CP) son:

Patricio Häberle, Coordinador de Postgrado de Física en la UTFSM (Director del Programa Conjunto)  
Mónica Pacheco (UTFSM)  
Patricio Vargas (UTFSM)  
Olivera Mišković, Coordinadora de Postgrado de Física en PUCV (Directora Alternativa del Programa Conjunto)  
Darío Pérez (PUCV)  
René Rojas (PUCV)  
Yolbeiker Rodríguez (UTFSM), Representante estudiantil.

Los miembros del Comité de Admisión (CA) de Doctorado son:

Ramón Herrera (PUCV)  
Mónica García (PUCV)  
Sergey Kovalenko (UTFSM)  
Gorazd Cvetič (UTFSM)

Los Coordinadores de Áreas de Especialización son:

Radouane Gannouji, Astrofísica, cosmología y gravitación  
Alfonso Zerwekh, Partículas y Campos.  
Pedro Landeros, Materia Condensada  
Mónica García, Sistemas Complejos

Las secretarías del Programa Conjunto son Marcela Aguirre Warden (UTFSM) y Costanza Tapia (PUCV).

### Anexo N° 3

#### Cuerpo de Profesores del Programa de Doctorado

Univ.	Apellido Paterno	Nombre	Grado e Institución	Línea de Especialidad	Subespecialidad	Evaluación Comité
USM	Acevedo	Cristián	Dr. Doctor en Biotecnología, UTFSM (2004)	Biofísica - Nanotecnología	Experimental	Colaborador
USM	Aristizabal	Diego	PhD Universidad de Valencia, España	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Director de tesis
PUCV	Astefanesei	Dumitru	PhD Mc Gill University, Montreal, Canadá (2005)	Física de Gravitación y Cosmología	Teórico	Director de tesis
USM	Brooks	William	PhD Duke University, USA (1988)	Física Experimental de Campos y Partículas	Experimental	Director de tesis
USM	Cárcamo	Antonio	PhD Scuola Normale Superiore of Pisa, Italia (2010)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Director de tesis
USM	Castillo	Oscar	Dr. en Ciencias mención Física UTFSM (2011)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Colaborador
USM	Contreras	Carlos	Dr. Rer. Nat. Universidad de Hamburgo, RFA (1995)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Director de tesis
USM	Corrales	Tomas	Dr. Rer Nat. Johannes Gutenberg University, Mainz, Germany, (2013)	Física Experimental de la Materia Condensada	Experimental	Director de tesis
USM	Cvetic	Gorazd	PhD. Cornell University, USA (1987)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Director de tesis
USM	Del Campo	Valeria	Dr. Fis. PUC, Chile, (2009)	Física Experimental de la Materia Condensada	Experimental	Director de tesis
USM	Dib	Claudio	PhD Stanford University, USA; (1989)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Director de tesis
PUCV	Flewett	Samuel	PhD University of Melbourne, Australia (2010)	Física Experimental de Sistemas Complejos	Experimental	Colaborador
USM	Gaete	Patricio	Dr. En ciencias, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Colaborador

PUCV	Gannouji	Radouane	PhD. Laboratoire de Physique Théorique et Astromartículas (LPTA), Montpellier, Francia (2008)	Física de Gravitación y Cosmología	Teórico	Director de tesis
USM	García	Carlos	Dr. Eur. Universidad del País Vasco, España (2007)	Física Experimental de la Materia Condensada	Experimental	Director de tesis
PUCV	García	Mónica	Dr. En Física, Instituto Venezolano de Investigaciones, Venezuela (2010)	Física Teórica de Sistemas Complejos	Teórico	Director de tesis
PUCV	Gobat	Raphael	PhD en Astrofísica, Ludwig Maximilian University, Alemania (2009)	Astrofísica	Teórico	Colaborador
USM	Häberle	Patricio	PhD. University of Pennsylvania, USA (1989)	Física Experimental de la Materia Condensada	Experimental	Director de tesis
USM	Hakobyan	Hayk	PhD Yerevan State University, Armenia (2008)	Física Experimental de Campos y Partículas	Experimental	Director de tesis
USM	Henríquez	Ricardo	Dr. Fis. U. de Chile (2010)	Física Experimental de la Materia Condensada	Experimental	Director de tesis
PUCV	Herrera	Ramón	Dr en Ciencias Físicas PUCV, Valparaíso , Chile (2004)	Física de Gravitación y Cosmología	Teórico	Director de tesis
USM	Kovalenko	Sergey	PhD, Joint Institute Nuclear Research, Dubna, Rusia (1998)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Director de tesis
USM	Landeros	Pedro	Dr. Fis. USACH, Chile (2007)	Física teórica de la Materia Condensada	Teórico	Director de tesis
USM	Miller	Jonathan	PhD University of Maryland, USA (2009)	Física Experimental de Campos y Partículas	Experimental	Colaborador
PUCV	Mišković	Olivera	Dr. Fis. USACH, Chile (2004)	Física de Gravitación y Cosmología	Teórico	Director de tesis
PUCV	Noreña	Jorge	PhD en Física International School for Advanced Studies (SISSA, Italy (2010)	Física de Gravitación y Cosmología	Teórico	Director de tesis
USM	Orellana	Pedro	Dr. En Cs. Exactas mención Física PUC, Chile (1991)	Física teórica de la Materia Condensada	Teórico	Director de tesis

USM	Pacheco	Mónica	Dr. Fis, PUC, Chile (1992)	Física teórica de la Materia Condensada	Teórico	Director de tesis
USM	Parra	Carolina	Dr en Ciencias, mención Física, UTFSM (2009)	Física Experimental de la Materia Condensada	Experimental	Director de tesis
PUCV	Pérez	Darío	Dr. Fis Universidad Nacional de la Plata, Argentina (2003)	Física de Sistemas Complejos	Teórico	Director de tesis
USM	Rezaeian	Amir	PhD The University of Manchester, UK, (2004)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Colaborador
USM	Rivera	Maximiliano	Dr. Fis PUC, Chile (2008)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Colaborador
PUCV	Rojas	René	Dr. Fis, Universidad de Niza Sophia Antipolis, Francia (2005)	Física Teórica de Sistemas Complejos	Teórico	Director de tesis
USM	Rosales	Luis	Dr. En Ciencias mención Física UTFSM (2008)	Física teórica en Materia Condensada	Teórico	Director de tesis
PUCV	Saavedra	Joel	Dr. Fis. USACH, Chile (2002)	Física de Gravitación y Cosmología	Teórico	Director de tesis
USM	Schmidt	Iván	PhD Stanford University, USA; (1977)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Director de tesis
USM	Siddikov	Marat	Dr. Rer. Nat Ruhr Universität Bochum, Germany (2008)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Director de tesis
USM	Suárez	Eric	Dr. En Ciencias mención Física UTFSM (2012)	Física teórica de la Materia Condensada	Teórico	Director de tesis
PUCV	Tejos	Nicolás	PhD Astrophysics, 2014, Durham University, UK	Astronomía y Astrofísica	Teórico	Colaborador
USM	Valdés	Jorge	Dr. Fis Instituto Balseiro, Universidad Nac. De Cuyo, Argentina (1993)	Física Experimental de la Materia Condensada	Experimental	Colaborador
PUCV	Varas	Germán	PhD Ecole Normale Supérieure de Lyon, Francia (2011)	Física Experimental de Sistemas Complejos	Experimental	Director de tesis
USM	Vargas	Patricio	Dr. Rer. Nat, Max Planck Institute, Stuttgart, RFA (1986)	Física teórica de la Materia Condensada	Teórico	Director de tesis
PUCV	Videla	Nelson	Dr. en Ciencias mención Física PUCV (2014)	Física de Gravitación y Cosmología	Teórico	Colaborador
USM	Zerwekh	Alfonso	Dr. Fis Universidad Estadual Paulista, Brasil (2000)	Física Teórica de Campos y Partículas	Teórico	Director de tesis

## Anexo N° 4

### Admisión: antecedentes solicitados

El postulante deberá presentar los siguientes antecedentes, debidamente certificados, dentro de los plazos previstos y de acuerdo con el o los formularios de postulación respectivos:

- a) Formulario Solicitud de Admisión
- b) Currículum Vitae
- c) Carta de motivación
- d) Certificado de título o grado
- e) Certificado de Notas, correspondiente a las asignaturas del título o grado de mayor nivel
- f) Dos cartas de Recomendación confidenciales en formulario
- g) Certificado de Nacimiento

## Anexo N° 5

### Plan de Estudio

PRIMER SEMESTRE	SEGUNDO SEMESTRE	TERCER SEMESTRE	CUARTO SEMESTRE	
FIS 310/810 Mecánica Clásica (10 SCT)	FIS 330/830 Mecánica Estadística (10 SCT)	FIS 300/800 Física Experimental (10 SCT)	Asignatura de especialidad 3 (10 SCT)	TESIS (180 SCT)
FIS 320/820 Electrodinámica (10 SCT)	FIS 341/850 Mecánica Cuántica II (10 SCT)	Asignatura de especialidad 2 (10 SCT)	Asignatura de especialidad 4 (10 SCT)	
FIS 340/840 Mecánica Cuántica I (10 SCT)	Asignatura de especialidad 1 (10 SCT)	Tópicos especiales 1 (10 SCT)	Tópicos especiales 2 (10 SCT)	

El Plan de Estudio de Doctorado consta de 300 créditos SCT-Chile, distribuidos de la siguiente manera:

- 6 Asignaturas Obligatorias (10 SCT c/u)
- 4 Asignaturas de Especialidad (10 SCT c/u)
- 2 Tópicos Especiales (10 SCT c/u)
- Trabajo de Tesis (180 SCT)

### Asignaturas Obligatorias

SIGLA		Nombre
UTFSM	PUCV	
310	810	Mecánica Clásica
320	820	Electrodinámica
330	830	Mecánica Estadística
340	840	Mecánica Cuántica I
341	850	Mecánica Cuántica II
300	800	Física Experimental

### Asignaturas de Especialidad y Tópicos Especiales de Partículas y Campos

SIGLA		Nombre
UTFSM	PUCV	
460	852	Física de Partículas I
461	853	Física de Partículas II
470	904	Teoría Cuántica de Campos I
471	905	Teoría Cuántica de Campos II
380	878	Métodos Matemáticos de la Física
383	906	Teoría de Grupos y sus aplicaciones en Física
493	860	Tópicos Especiales de Física de Campos y Partículas I
494	861	Tópicos Especiales de Física de Campos y Partículas II

### Asignaturas de Especialidad y Tópicos Especiales de Materia Condensada

SIGLA		Nombre
UTFSM	PUCV	
450	863	Física de Sólidos I
451	864	Física de Sólidos II
469	907	Laboratorio de Física Avanzada
430	862	Teoría Cuántica de Muchas Partículas I
431	908	Teoría Cuántica de Muchas Partículas II
495	874	Tópicos Especiales en Física de Materia Cond. I
496	875	Tópicos Especiales en Física de Materia Cond. II

**Asignaturas de Especialidad y Tópicos Especiales de Astrofísica, Cosmología y Gravitación**

SIGLA		Nombre
UTFSM	PUCV	
483	898	Relatividad General I
484	910	Cosmología I
485	899	Relatividad General II
486	900	Cosmología II
475	866	Teoría de Campos Conformes
488	901	Tópicos Especiales en Astrofísica, Cosmología y Gravitación I
489	902	Tópicos Especiales en Astrofísica, Cosmología y Gravitación II

**Asignaturas de Especialidad y Tópicos Especiales de Sistemas Complejos**

SIGLA		Nombre
UTFSM	PUCV	
425	903	Física de los Sistemas Complejos
462	886	Fluidos, Capilaridad y Fenómenos de Mojado
463	962	Procesos Estocásticos en Sistemas Complejos
466	887	Óptica Estadística
468	963	Reología de Materiales Complejos
333	909	Física de los Sistemas fuera del Equilibrio
480	966	Tópicos Especiales en Sistemas Complejos I
481	892	Tópicos Especiales en Sistemas Complejos II

## **Cursos de Tópicos Especiales dictados recientemente**

### **Partículas y Campos**

- Del Lagrangiano al Histograma: Cálculos Fenomenológicos Realistas Para el LHC
- Problemas de Renormalización en QCD
- Física más allá del modelo estándar
- Métodos No Perturbativos de la teoría de Campos

### **Materia Condensada**

- Métodos computacionales para problemas aplicados
- Transporte eléctrico en materiales
- Transporte electrónico y Óptica en Nanoestructuras
- Teoría del funcional densidad
- Física de Nanomateriales I

### **Astrofísica, Cosmología y Gravitación**

- Física de agujeros negros
- Fluctuaciones en el Universo inflacionario
- Evolución presente del Universo
- Cosmology, dark energy and modified gravity
- Teoría de campos en espacios curvos

### **Sistemas Complejos**

- Dinámica de patrones
- Física de Rayos-X
- Formas normales en dimensión infinita
- Sistemas granulares

## Anexo N° 6

### Programas de Asignaturas

#### 1.- Asignaturas de Formación General (Obligatorias)

<b>Nombre del curso</b>	<b>MECÁNICA CLÁSICA</b> Código USM: FIS310 Código PUCV: FIS810
<b>Descripción del curso</b>	Este es un curso avanzado de mecánica clásica, el cual busca profundizar los conocimientos de los estudiantes en los temas relacionados al movimiento de sistemas de partículas. Las actividades del curso incluyen clases expositivas, tareas y trabajo personal de los estudiantes.
	<b>Asignatura: OBLIGATORIA</b> PREREQUISITOS: N/A Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	El objetivo del curso es profundizar el grado de conocimiento y manejo del estudiante. Específicamente, el estudiante desarrollará conocimientos sobre la formulación de la mecánica a partir del principio variacional. También, podrá resolver las ecuaciones de Euler-Lagrange, analizar la dispersión clásica de las partículas y estudiar el movimiento de las oscilaciones pequeñas. Adicionalmente, podrá aplicar el teorema de Noether para obtener leyes de conservación, y también aplicar la formulación Hamiltoniana a problemas físicos.
<b>Contenidos</b>	UNIDAD I. Formulación Lagrangiana 1.1. Variables Generalizadas 1.2. Clasificación de los Sistemas Mecánicos 1.3. Elementos de Cálculo Variacional 1.4. Ecuaciones de Euler-Lagrange con y sin vínculos 1.5. Aplicaciones (movimiento en un campo fuerza central, observadores no inerciales, ecuaciones diferenciales de órbitas y potenciales integrables, etc.) UNIDAD II. Scattering de Partículas 2.1 Desintegración de partículas 2.2 Choques elásticos 2.3 Scattering de partículas 2.4 Scattering de Rutherford

	<p>UNIDAD III. Teoremas de Conservación 3.1 Teorema de Noether 3.2 Aplicaciones del teorema de Noether</p> <p>UNIDAD IV. Oscilaciones Pequeñas 4.1 Oscilaciones lineales libres 4.2 Oscilaciones forzadas 4.3 Oscilaciones con varios grados de libertad 4.4 Oscilaciones amortiguadas 4.5 Oscilaciones forzadas con roce 4.6 Oscilaciones anarmónicas 4.7 Resonancia en sistemas no-lineales</p> <p>UNIDAD V. Sólidos Rígidos 5.1 Velocidad angular 5.2 Tensor de inercia 5.3 Momentum angular de un sólido 5.4 Ángulos de Euler 5.5 Ecuaciones de Euler 5.6 El trompo 5.7 Movimiento en un sistema no-inercial</p> <p>UNIDAD VI. Formulación Hamiltoniana 6.1 Transformaciones de Legendre 6.2 Ecuaciones de Hamilton 6.3 Ecuaciones de Hamilton de la Partícula Relativista 6.4 Corchete de Poisson 6.5 Transformaciones Canónicas 6.6 Ecuaciones de Hamilton-Jacobi</p>												
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>La evaluación consiste en las tareas obligatorias que entrarán en la evaluación final, y las tareas no obligatorias que en su conjunto buscan mejorar el aprendizaje del estudiante. Se realizarán tres pruebas y se hará un examen final.</p> <p>La nota final estará compuesta por:</p> <table border="1" data-bbox="657 1434 1063 1640"> <thead> <tr> <th>Evaluación</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Tareas obligatorias</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Examen final</td> <td>40%</td> </tr> </tbody> </table> <p>La evaluación y los porcentajes pueden ser modificados por el profesor, informando al inicio del curso.</p>	Evaluación	Porcentaje	Prueba 1	15%	Prueba 2	15%	Prueba 3	15%	Tareas obligatorias	15%	Examen final	40%
Evaluación	Porcentaje												
Prueba 1	15%												
Prueba 2	15%												
Prueba 3	15%												
Tareas obligatorias	15%												
Examen final	40%												
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ H. Goldstein, C. P. Poole, J. Safko, “Mecánica Clásica” (2006, San Francisco, U.S.A.: Adisson-Wesley)</li> <li>▪ L.D. Landau and E. M. Lifshitz, <i>Mechanics</i>.</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p>												

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ S. T. Thornton, J. B. Marion, “Dinámica Clásica de las Partículas y Sistemas” (2003, México, D. F., México: Brooks Cole)</li><li>▪ A. L. Fetter, J. D. Walecka “Theoretical Mechanics of Particles and Continua” (2003, New York, U.S.A.: Dover Publications Inc.)</li><li>▪ Arnold, Mathematical Methods of Classical Mechanics (Springer 2nd edition 1997).</li></ul>
--	---

<b>Nombre del curso</b>	<b>ELECTRODINÁMICA</b> Código USM: FIS320 Código PUCV: FIS820
<b>Descripción del curso</b>	Este es un curso obligatorio que profundiza los conocimientos de los estudiantes en electrodinámica usando herramientas matemáticas más avanzadas. En particular, se profundizan los conceptos de electrostática, magnetostática y electrodinámica con aplicaciones en propagación de ondas, guías de ondas y radiación. Finalmente se introduce el formalismo tensorial de la electrodinámica relativista. Las actividades del curso incluyen clases expositivas y tareas.
	<b>Asignatura: OBLIGATORIA</b> PREREQUISITOS: N/A Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Al finalizar la asignatura, el estudiante debe evidenciar dominio de los contenidos a través del conocimiento y la utilización de los conceptos y leyes fundamentales relacionados con el electromagnetismo, aplique estos conceptos a una serie de fenómenos propios de los sistemas físicos e interprete fenómenos reales relacionados con la electrodinámica.
<b>Contenidos</b>	UNIDAD I. El campo electrostático y magnetoestático 1.1 Campo electrostático, Ley de Coulomb, Ley de Gauss, Potencial escalar. 1.2 Campo magnetostático, Ley de Biot-Savart, Ley de Ampère, Potencial vectorial. 1.3 Ecuaciones de Poisson y de Laplace. 1.4 El método de imágenes. 1.5 Método de separación de variables: Coordenadas cartesianas. 1.6 Método de separación de variables: Coordenadas esféricas. 1.7 Función de Green de la ecuación de Laplace, solución de la ecuación de Poisson. 1.8 Inducción electromagnética. Ley de Faraday. 1.9 Corriente de desplazamiento, Ley de Ampère generalizada. UNIDAD II. Las Ecuaciones del campo electromagnético 2.1 Las ecuaciones de Maxwell.

	<p>2.2 Leyes de conservación de carga y energía, Teorema de Poynting.</p> <p>2.3 Conservación de momento.</p> <p>2.4 Potenciales y transformaciones de gauge.</p> <p>2.5 Potenciales para distribuciones continuas, potenciales retardados.</p> <p>2.6 Potenciales de Liénard-Wiechert, Fórmula de Larmor.</p> <p>UNIDAD III. Radiación y propagación de ondas electromagnéticas</p> <p>3.1 Las ecuaciones de Onda. Ondas electromagnéticas en el vacío.</p> <p>3.2 Ondas en medios. Reflexión y refracción de ondas electromagnéticas planas.</p> <p>3.3 Ondas electromagnéticas esféricas.</p> <p>3.4 Absorción y dispersión. Campos en la superficie y en el interior de un conductor.</p> <p>3.5 Guías de ondas: rectangular y circular.</p> <p>3.6 Radiación de dipolo</p> <p>3.7 Radiación por una carga puntual en movimiento.</p> <p>UNIDAD IV. Electrodinámica relativista</p> <p>4.1 Revisión de la Teoría de relatividad especial de Einstein.</p> <p>4.2 Vectores en electrodinámica.</p> <p>4.3 El tensor electromagnético y las ecuaciones de Maxwell.</p> <p>4.4 Leyes de transformación de los campos.</p> <p>4.5 El tensor momento-energía del campo electromagnético.</p> <p>4.6 Formulaciones Lagrangiana del campo electromagnético.</p> <p>4.7 Movimiento de partículas cargadas.</p>												
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>La evaluación consiste en las tareas obligatorias que entrarán en la evaluación final, y las tareas no obligatorias que ayudarán al alumno a aprender la materia mejor. Se realizarán tres pruebas y se hará un examen final.</p> <p>La nota final estará compuesta por:</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th><b>Evaluación</b></th> <th><b>Porcentaje</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Tareas obligatorias</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Examen final</td> <td>40%</td> </tr> </tbody> </table> <p>La evaluación y los porcentajes pueden ser modificados por el profesor, informando al inicio del curso.</p>	<b>Evaluación</b>	<b>Porcentaje</b>	Prueba 1	15%	Prueba 2	15%	Prueba 3	15%	Tareas obligatorias	15%	Examen final	40%
<b>Evaluación</b>	<b>Porcentaje</b>												
Prueba 1	15%												
Prueba 2	15%												
Prueba 3	15%												
Tareas obligatorias	15%												
Examen final	40%												

<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ J.D. Jackson, <i>Classical Electrodynamics</i> (John Wiley).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ F. Melia, <i>Electrodynamics</i> (The University of Chicago Press, 2001)</li> <li>▪ L. Landau and E. Lifshitz, <i>The Classical Theory of Fields</i> (Addison–Wesley).</li> <li>▪ D. J. Griffiths, “Introduction to Electrodynamics” (1999, 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall, N.J.)</li> <li>▪ M. A. Heald and J. B. Marion, “Classical Electromagnetic Radiation” (1995, 3<sup>rd</sup> edition, Brooks/Cole, Mexico)</li> <li>▪ A.O. Barut, <i>Electrodynamics and Classical Theory of Fields and Particles</i> (Dover Publications).</li> <li>▪ W.K.H Panofsky and M. Philips, <i>Classical Electricity and Magnetism second edition</i> (Dover Publications)</li> <li>▪ O. D. Jefimenko, “Electricity and Magnetism” (1989, 2<sup>nd</sup> edition, Electret Scientific Company, Star City)</li> <li>▪ P. Lorrain, D. Corson Na F. Lorrain, “Electromagnetic Field and Waves” (1987, Freeman, N. Y.)</li> <li>▪ W. Greiner, “Classical Electrodynamics” (1998, Springer-Verlag, N.Y.)</li> <li>▪ E. J. Konopinski, “Electromagnetic Fields and Relativistic Particles” (1981, McGraw-Hill)</li> </ul>
---------------------	---

<b>Nombre del curso</b>	<b>MECÁNICA ESTADÍSTICA</b> Código USM: FIS330 Código PUCV: FIS830
<b>Descripción del curso</b>	Este es un curso obligatorio y fundamental de cualquier curriculum de Física Avanzada, que profundiza los conocimientos de los estudiantes de la Termodinámica. La física estadística permite determinar el comportamiento macroscópico (medible) de los sistemas de muchos cuerpos, recuperar el comportamiento termodinámico de tales sistemas, a partir de un cierto conocimiento de las propiedades de los estados microscópicos subyacentes. Las actividades del curso incluyen clases expositivas, tareas y exámenes.
	<b>Asignatura: OBLIGATORIA</b> Prerequisito: N/A Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Este curso de física estadística es un puente entre la descripción microscópica (cuántica) y el mundo macroscópico. Se parte de las nociones básicas de probabilidad y las leyes de termodinámica para luego plantear el formalismo de ensambles aplicado a sistemas clásicos y cuánticos. Se da énfasis en el estudio de los gases y líquidos formado por bosones (estadística de Bose-Einstein) o fermiones (estadística de Fermi-Dirac) y sus aplicaciones. La física estadística proporciona los fundamentos microscópicos de la termodinámica. A nivel microscópico, los sistemas de muchos cuerpos tienen una gran cantidad de estados disponibles y están continuamente muestreando grandes subconjuntos de estos estados. La tarea de la física estadística es determinar el comportamiento macroscópico (medible) de los sistemas de muchos cuerpos, dado un cierto conocimiento de las propiedades de los estados microscópicos subyacentes, y recuperar el comportamiento termodinámico de tales sistemas.  Al finalizar la asignatura se espera que el alumno Identifique los objetivos de la mecánica estadística y su dominio de aplicabilidad, comprender el concepto de ensambles y reconocer los distintos tipos: microcanónico, canónico, gran canónico e isobárico-isotérmico. También se espera que aplique las bases de la física estadística a sistemas específicos

	<p>tal como gases ideales, gases imperfectos, fotones, electrones, spines, etc. Y que pueda aplicar la metodología aprendida para calcular propiedades magnéticas, ópticas, mecánicas, etc. de ciertos sistemas equilibrio térmico.</p>
<p><b>Contenidos</b></p>	<p>UNIDAD I. Principios Básicos</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Introducción</li> <li>1.2. Un breve repaso de la teoría de probabilidades</li> <li>1.3. Conjuntos en estadísticas clásicas</li> <li>1.4. Estadísticas cuánticas (matriz densidad, ecuación de Von Neumann)</li> </ol> <p>UNIDAD II. Ensembles en Equilibrio</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Ensembles microcanónicos</li> <li>2.2. Entropía y Presión</li> <li>2.3. Propiedades de algunos sistemas no interactuantes.</li> <li>2.4. Ensemble Canónico</li> <li>2.5. Ensemble Gran Canónico y otros</li> </ol> <p>UNIDAD III. Termodinámica</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. Potenciales y leyes del equilibrio termodinámico</li> <li>3.2. Derivadas de cantidades termodinámicas.</li> <li>3.3. Fluctuaciones e inecuaciones termodinámicas.</li> <li>3.4. Procesos termodinámicos.</li> <li>3.5. Primera y segunda ley de la Termodinámica</li> <li>3.6. Procesos cíclicos (motores)</li> <li>3.7. Fases de sistemas de una componente</li> <li>3.8. Equilibrio en sistema de multi-componentes</li> </ol> <p>UNIDAD IV. Gases Ideales Cuánticos</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. El potencial gran canónico</li> <li>4.2. Límite clásico (<math>z \ll 1</math>)</li> <li>4.3. El gas ideal de Fermi cuasi-degenerado</li> <li>4.4. La condensación de Bose-Einstein</li> <li>4.5. El gas de fotones</li> <li>4.6. Fonones en sólidos</li> <li>4.7. Fonones y rotones en He-II</li> </ol> <p>UNIDAD V. Sistemas Reales</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. Gas ideal molecular</li> <li>5.2. Mezclas de gases ideales moleculares</li> <li>5.3. Expansión del Virial</li> <li>5.4. La ecuación de estado de Van der Waals</li> <li>5.5. Soluciones diluidas</li> </ol> <p>UNIDAD VI. Magnetismo</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6.1. La matriz densidad y la Termodinámica</li> <li>6.2. EL diamagnetismo en Átomos</li> <li>6.3. El paramagnetismo de momentos magnéticos no acoplados</li> <li>6.4. El paramagnetismo de Pauli</li> </ol>

	<p>6.5. Ferromagnetismo 6.6. La interacción dipolar magnética 6.7. Aplicaciones (Polímeros, elasticidad, temperaturas negativas).</p> <p>UNIDAD VII. Transiciones de Fase 7.1. Transiciones de fase y fenómenos críticos 7.2. La hipótesis de escalamiento 7.3. El grupo de renormalización (modelo de Ising) 7.4. Teoría de Ginzburg-Landau 7.5. Percolación</p>										
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>La evaluación consiste en las tareas obligatorias y realizarán tres pruebas, una cada mes y medio aproximadamente. La nota final estará compuesta por:</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th><b>Evaluación</b></th> <th><b>Porcentaje</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Tareas obligatorias</td> <td>40%</td> </tr> </tbody> </table> <p>La evaluación y los porcentajes pueden ser modificados por el profesor, informando a los alumnos al inicio del curso.</p>	<b>Evaluación</b>	<b>Porcentaje</b>	Prueba 1	20%	Prueba 2	20%	Prueba 3	20%	Tareas obligatorias	40%
<b>Evaluación</b>	<b>Porcentaje</b>										
Prueba 1	20%										
Prueba 2	20%										
Prueba 3	20%										
Tareas obligatorias	40%										
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ K. Huang, "Statistical Mechanics" (1963).</li> <li>▪ L. Landau and E. Lifshitz, "Física Estadística" (1969).</li> <li>▪ E. Reif, Fundamentos de la Física Estadística y Térmica (1968).</li> <li>▪ Franz Schwabl "Statistical Mechanics ", Springer 2006</li> </ul> <p><b>Recomendada/Complementaria:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Monografías y artículos (papers) pertinentes a los temas tratados.</li> </ul>										

<b>Nombre del curso</b>	<b>MECÁNICA CUÁNTICA I</b> Código USM: FIS340 Código PUCV: FIS840
<b>Descripción del curso</b>	En esta asignatura se profundizan los conceptos que permiten realizar una descripción de la física a nivel microscópico en sistemas atómicos y nucleares. Los estudiantes serán expuestos a las herramientas matemáticas que les permitirán analizar los fenómenos cuánticos y revelar su rol en formación de las propiedades de la materia.
	<b>Asignatura: OBLIGATORIA</b> PREREQUISITOS: N/A Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio:
<b>Objetivos</b>	Durante de este curso, los estudiantes lograrán a manejar los postulados sobre los cuales está fundamentada la mecánica cuántica y hacer uso formal del lenguaje matemático de notación de Dirac. El estudiante también comprenderá los conceptos de estado cuántico, espacio de estados y espacio de Hilbert, bases generadoras, operadores y observables. Haciendo uso de los mismos, el estudiante puede desarrollar cálculos de observables en situaciones físicas reales y analizar las implicaciones de la mecánica cuántica en la interpretación del mundo físico.
<b>Contenidos</b>	UNIDAD I. Herramientas matemáticas de la mecánica cuántica 1.1 Función de onda de una partícula 1.2 Notación de Dirac y espacio de estados 1.3 Representación en el espacio de estados, variables discreta y continua 1.4 Ecuación de autovalores. Observables 1.5 Representación de coordenadas y momento 1.6 Producto tensorial de espacio de estados* UNIDAD II. Interpretación Física 2.1 Los postulados de la mecánica cuántica 2.2 Observables compatibles y no compatibles 2.3 Relaciones de incerteza 2.3 Matriz de densidad* UNIDAD III. Dinámica de Sistemas cuánticos 3.1 Operador de evolución 3.2 Evolución de un estado (Cuadro de Schrödinger)

	<p>3.3 Evolución de los observables (Cuadro de Heisenberg) 3.4 Cuadro de interacción (Cuadro de Dirac)* 3.5 Principio de correspondencia*</p> <p>UNIDAD IV. El oscilador armónico 4.1 Operadores aniquilación y creación 4.2 Autovalores y autoestados del Hamiltoniano</p> <p>UNIDAD V. Momento angular 5.1 Rotaciones y momento angular 5.2 Algebra del momento angular 5.3 Espectro del operador de momento angular</p> <p>UNIDAD VI. Spin <math>\frac{1}{2}</math> y sistemas de dos niveles 6.1 Partículas de spin <math>\frac{1}{2}</math>, cuantización del momento angular 6.2 Ilustración de los postulados en el caso de spin <math>\frac{1}{2}</math> 6.3 Estudio general de un sistema de dos niveles. Oscilaciones de Rabi* 6.4 Partículas idénticas: fermiones y bosones*</p> <p>UNIDAD VII. Partículas en un potencial central 7.1 Breve revisión del átomo de Hidrógeno. Ecuación radial y Ecuación angular 7.2 Espectro del Hidrógeno. Espacio orbital de estados y conjunto completo de observables compatibles 7.3 El átomo de Hidrógeno en un campo magnético uniforme. El efecto Zeeman</p> <p>UNIDAD VIII. Introducción a la Teoría de Perturbaciones 8.1 Principio Variacional 8.2 Teoría de perturbaciones independiente del tiempo 8.3 Teoría de perturbaciones no degenerada 8.4 Teoría de perturbaciones degenerada 8.5 Probabilidad de transición y regla de oro de Fermi*</p> <p>* Tópicos optativos.</p>												
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>La evaluación consiste en las tareas obligatorias que entrarán en la evaluación final, y las tareas no obligatorias que ayudarán al alumno a aprender la materia mejor. Se realizarán tres pruebas (una cada mes y medio aproximadamente), y se hará un examen final.</p> <p>La nota final estará compuesta por:</p> <table border="1" data-bbox="657 1648 1063 1850"> <thead> <tr> <th>Evaluación</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Tareas obligatorias</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Examen final</td> <td>40%</td> </tr> </tbody> </table>	Evaluación	Porcentaje	Prueba 1	15%	Prueba 2	15%	Prueba 3	15%	Tareas obligatorias	15%	Examen final	40%
Evaluación	Porcentaje												
Prueba 1	15%												
Prueba 2	15%												
Prueba 3	15%												
Tareas obligatorias	15%												
Examen final	40%												

	La evaluación y los porcentajes pueden ser modificados por el profesor, informando al inicio del curso.
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ C. Cohen-Tannoudji (1991), “Quantum Mechanics” Volumen I, II (1991, John Wiley)</li> <li>▪ J.J. Sakurai, Modern Quantum Mechanics (Addison–Wesley).</li> </ul>
	<b>Recomendada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A. Messiah, “Quantum Mechanics”, Volumen I, II (2014, 2da Edición, Dover Inc.)</li> <li>▪ N. Zettili, “Quantum Mechanics: Concepts and Applications” (2009, John-Wiley)</li> <li>▪ L.E. Ballentine, “Quantum Mechanics. A modern Development” (1998, World Scientific Publishing)</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>MECÁNICA CUÁNTICA II</b> Código USM: FIS341 Código PUCV: FIS850
<b>Descripción del curso</b>	En esta asignatura se cubren tópicos que normalmente no se tratan en asignaturas de licenciatura, e incluyen aspectos especializados en: teoría de la dispersión cuántica, simetrías en mecánica cuántica y álgebras de Lie, cuantización de sistemas con ligaduras y cuantización del campo electromagnético.
	<b>Asignatura: OBLIGATORIA</b> Prerequisitos: Mecánica Cuántica I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Extender aplicaciones de la mecánica cuántica a procesos más complejos, y extensión a la física relativista.
<b>Contenidos</b>	UNIDAD 1. Revisión 1.1. Estado cuántico, observables y sus representaciones 1.2. Postulados de mecánica cuántica 1.3. Autoestados de energía 1.4. Partícula en un potencial central 1.5. UNIDAD 2. Teoría Cuántica de Scattering 2.1 Estados estacionarios de Scattering 2.2 Amplitud y Sección eficaz de scattering 2.3 Scattering por un potencial central 2.4 Aproximación de Born 2.4 Método de ondas parciales 2.5 Teorema óptico 2.6 Caso coulombiano, Formula de Rutherford UNIDAD 3. Spin de electrón 3.1 Revisión spin del electrón 3.2 Propiedades especiales del momento angular $\frac{1}{2}$ 3.3 Resonancia de spin UNIDAD 4. Suma de momentos angulares 4.1 Suma de momentos angulares de dos spines $\frac{1}{2}$ 4.2 Coeficientes de Clebsch-Gordan 4.3 Teorema de Wigner-Eckart 4.4 Suma de dos momentos angulares. Método General UNIDAD 5. Radiación 5.1 Interacción de radiación con la materia 5.2 Absorción de luz

	<p>5.3 Cuantización del campo de radiación 5.4 Coeficientes A y B de Einstein 5.5 Emisión espontánea 5.6 Transiciones dipolares eléctricas 5.7 Transiciones dipolares magnéticas 5.8 Scattering de luz 5.9 Scattering de Raman UNIDAD 6. Partículas Idénticas y el Spin 6.1 Simetría y antisimetría de la función de onda 6.2 Partículas indistinguibles 6.3 El principio de Exclusión 6.4 Scattering de partículas idénticas 6.5 Gases ideales cuánticos 6.6 Condensados de Bose-Einstein UNIDAD 7. Segunda cuantización 7.1 Operadores de creación y aniquilación 7.2 Operadores de campo 7.3 Función correlación de pares 7.4 Hamiltoniano del gas de electrones 7.5 Aproximación de Hartree-Fock 7.6 Interacción spin-órbita 7.7 Efecto Zeeman 7.8 La molécula de hidrógeno 7.9 Integral de Exchange UNIDAD 8. Partículas relativísticas 8.1 Energías negativas y antipartículas 8.2 Ecuación de Klein-Gordon 8.3 Ecuación de Dirac 8.4 El spin <math>\frac{1}{2}</math> del electrón 8.5 Límite no-relativista 8.6 La interacción spin-órbita 8.7 Estructura hiperfina 8.8 El Lamb shift 8.9 El espacio vacío de Dirac 8.10 El problema de muchos cuerpos</p>								
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>La evaluación consiste en las tareas obligatorias que entrarán en la evaluación final, y las tareas no obligatorias que ayudarán al alumno a aprender la materia mejor. Se realizarán tres pruebas (una cada mes y medio aproximadamente), y se hará un examen final. La nota final estará compuesta por:</p> <table border="1" data-bbox="657 1780 1079 1919"> <thead> <tr> <th>Evaluación</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>15%</td> </tr> </tbody> </table>	Evaluación	Porcentaje	Prueba 1	15%	Prueba 2	15%	Prueba 3	15%
Evaluación	Porcentaje								
Prueba 1	15%								
Prueba 2	15%								
Prueba 3	15%								

	<p>Tareas obligatorias      15%</p> <p>Examen final                40%</p> <p>La evaluación y los porcentajes pueden ser modificados por el profesor, informando al inicio del curso.</p>
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cohen-Tannoudji, Quantum Mechanics Vol. II (John Wiley, 1977).</li> <li>▪ Messiah, Quantum Mechanics, Vol. I-II (John Wiley).</li> <li>▪ J.J. Sakurai, Modern Quantum Mechanics (Addison-Wesley).</li> <li>▪ Steven Weinberg, Lectures on Quantum Mechanics, Second Edition (Cambridge 2015).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Galindo y Pascual, Quantum Mechanics.</li> <li>▪ K. Gottfried, T-M Yan, Quantum Mechanics: Fundamentals (2nd Ed, Springer 2003).</li> <li>▪ G. Baym, Lectures on Quantum Mechanics (W.A. Benjamin Inc, 1969).</li> <li>▪ N. Zettili, Quantum Mechanics: Concepts and Applications (John-Wiley, 2009).</li> <li>▪ Quantization of Gauge Systems, Marc Henneaux and Claudio Teitelboim (Princeton 1992).</li> <li>▪ Lie Algebras in Particle Physics, Howard Georgi (ABP, 1999).</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>FÍSICA EXPERIMENTAL</b> Código USM: FIS300 Código PUCV: FIS800
<b>Descripción del curso</b>	En esta asignatura los estudiantes recibirán una visión amplia de: instrumentación, técnicas de fabricación, caracterización y análisis de datos empleados en alguna de las tres áreas de especialización del programa que contiene líneas experimentales. La modalidad de trabajo es presentar al estudiante con un problema que pueda abordar en el lapso de un semestre y que debe ser realizado como un trabajo independiente con supervisión del profesor. No es extraño que alumnos aventajados puedan presentar sus resultados en congresos o realizar una publicación científica a partir del trabajo en la asignatura. En algunos casos las tareas a desarrollar involucran el diseño de piezas y partes a ser empleadas en el sistema experimental.
	<b>Asignatura: OBLIGATORIA</b> PREREQUISITOS: N/A Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: - Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: 8
<b>Objetivos</b>	Exponer a los estudiantes a los fundamentos teórico-prácticos de realizar trabajo experimental en las áreas de: materia condensada o física de alta energía o sistemas complejos. Permitir que el estudiante desarrolle un trabajo independiente en algún aspecto de la disciplina que permita su familiarización con técnicas de caracterización, construcción de sistemas y finalmente síntesis o preparación de muestras de estudio según corresponda.
<b>Contenidos</b>	Dependiendo del área y el interés de los estudiantes los contenidos podrían estar divididos en unidades parciales o corresponder a una progresión de la planificación del trabajo a realizar. El profesor y estudiante se vinculan usualmente en esta asignatura en modalidad tutorial. La definición de objetivos parciales es presentada por el profesor al inicio de la asignatura.
<b>Modalidad de evaluación</b>	La asignatura será evaluada por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Reportes parciales (40%)</u>: Los estudiantes entregarán de forma electrónica un informe al finalizar cada unidad.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Informe y presentación final (60%)</u>: Al terminar el curso los estudiantes presentarán de forma escrita y oral el informe final de las actividades realizadas.</li> </ul>
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ “Fabrication Engineering at the Micro and Nanoscale”, Stephen A. Campbell</li> <li>▪ “Handbook of magnetic measurements”, Slawomir Tumanski.</li> <li>▪ “Physics and Chemistry of Interfaces”, Hans-Jürgen Butt, Karlheinz Graf, Michael Kappl, Wiley-VCH, 3rd Edition (2013)</li> <li>▪ J. H. Moore, C. Davis, Building Scientific Apparatus, Cambridge University press.</li> <li>▪ P. Horowitz, W. Hill, The art of Electronics, Cambridge University press.</li> <li>▪ J. Goodman, Introduction to Fourier Optics, Roberts and Company.</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Artículos científicos y tesis doctorales suministrados a principios de curso.</li> </ul>

## 2.- Asignaturas de Especialidad: Partículas y Campos

<b>Nombre del curso</b>	<b>TEORÍA CUÁNTICA DE CAMPOS I</b> Código USM: FIS470 Código PUCV: FIS904
<b>Descripción del curso</b>	En esta asignatura se desarrolla la teoría cuántica de campos, que constituye la base para descripción relativista de las partículas subatómicas. Se introducen diagramas y reglas de Feynman, que se aplican al cálculo de las razones de desintegración y secciones eficaz de dispersión. Los conceptos y métodos presentados constituyen una base imprescindible para realizar investigación en teoría de partículas elementales.
	<b>Asignatura: Especialidad – Partículas y Campos</b> Prerequisitos: Mecánica Cuántica II – Electrodinámica Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Al finalizar el curso el estudiante logrará una comprensión detallada de la forma en que una teoría de campos relativista y cuantizada, puede describir las partículas elementales y sus interacciones. Será capaz de utilizar el formalismo desarrollado para calcular secciones eficaces de dispersión y otras propiedades en electrodinámica cuántica.
<b>Contenidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuantización canónica de campos escalares.</li> <li>▪ Amplitud y sección eficaz de scattering.</li> <li>▪ Diagramas de Feynman.</li> <li>▪ Introducción a la renormalización.</li> <li>▪ Ecuación de Dirac y cuantización de campos fermiónicos.</li> <li>▪ Electrodinámica cuántica. Procesos electrodinámicos elementales.</li> <li>▪ Momento magnético anómalo del electrón. Corrimiento de Lamb</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Tareas y examen escrito.
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ M. Maggiore, A Modern Introduction to Quantum Field Theory (Oxford University Press)</li> <li>▪ M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory (Addison–Wesley).</li> <li>▪ F. Mandl, G. Shaw, “Quantum Field Theory”, 2nd edition (2010, Wiley)</li> </ul>

	<p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ S. Weinberg: <i>The Quantum Theory of Fields</i>, Vol I y II (Cambridge).</li><li>▪ R.D. Klauber, "Student Friendly Quantum Field Theory. Basic Principles and Quantum Electrodynamics" (2013, Sandtrove Press, Iowa)</li><li>▪ L. H. Rayder, "Quantum Field Theory" 2<sup>nd</sup> edition (1996, Cambridge University Press)</li></ul>
--	---

<b>Nombre del curso</b>	<b>TEORÍA CUÁNTICA DE CAMPOS II</b> Código USM: FIS471 Código PUCV: FIS905
<b>Descripción del curso</b>	El curso profundiza los conocimientos adquiridos previamente en la asignatura Física Cuántica de Campos I (FIS470/904), desarrollando la teoría de renormalización y extendiendo la electrodinámica a la teoría de Gauge, basándose en el concepto de la integral funcional.
	<b>Asignatura: Especialidad – Partículas y Campos</b> Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Al final del curso el estudiante habrá aprendido los conceptos y métodos avanzados de la Teoría Cuántica de Campos.
<b>Contenidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Integral Funcional.</li> <li>▪ Teoría de renormalización.</li> <li>▪ Grupo de Renormalización.</li> <li>▪ Anomalías.</li> <li>▪ Cuantización de Teorías de Gauge.</li> <li>▪ Métodos de Fadeev–Popov.</li> <li>▪ Teorías con ruptura espontánea de la simetría de Gauge y su cuantización.</li> <li>▪ Teoría de Campos a temperatura finita.</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Tareas y examen escrito
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory (Addison.–Wesley).</li> <li>▪ S. Weinberg: The Quantum Theory of Fields, Vol I y II (Cambridge).</li> <li>▪ C. Itzykson, J. Zuber: Quantum Field Theory (McGraw.–Hill).</li> <li>▪ Le Bellac: Thermal Field Theory (Cambridge).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p>

<b>Nombre del curso</b>	<b>FÍSICA DE PARTÍCULAS I</b> Código USM: FIS460 Código PUCV: FIS852
<b>Descripción del curso</b>	En este curso se estudian los fundamentos de la descripción contemporánea de la Física de Partículas. Se construye el Modelo Estándar enfatizando el sector electrodébil y se presentan sus éxitos experimentales, sus problemas teóricos. Además se presentan posibles extensiones al Modelo Estándar y la búsqueda experimental de nueva física en el LHC.
	<b>Asignatura: Especialidad – Partículas y Campos</b> Prerequisitos: Teoría Cuántica de Campos I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Al finalizar el curso los estudiantes habrán aprendido los conceptos y métodos teóricos de la Física de Partículas: Modelo Estándar.
<b>Contenidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo SU(3) de quarks.</li> <li>▪ Interacciones débiles: corrientes cargadas y neutras, matriz de CKM.</li> <li>▪ Modelo estándar de interacciones electrodébiles. Renormalizabilidad.</li> <li>▪ Mecanismo de ruptura espontánea de simetría electrodébil.</li> <li>▪ Propiedades de los bosones de Gauge.</li> <li>▪ Propiedades del bosón de Higgs</li> <li>▪ Problema de jerarquía y extensiones del Modelos Estándar</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Examen escrito y tareas
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ T.P. Cheng, L.F. Li: Gauge Theory of Elementary Particles Physics (Oxford Univ. Press).</li> <li>▪ P. Langacker, The Standard Model and Beyond, (CRC Press, Taylor &amp; Francis Group).</li> <li>▪ Quang Ho-Kim, Xuan-Yem Pham, Elementary Particles and Their Interactions, (Springer).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b> Publicaciones científicas del área</p>

<b>Nombre del curso</b>	<b>FÍSICA DE PARTÍCULAS II</b> Código USM: FIS461 Código PUCV: FIS853
<b>Descripción del curso</b>	En este curso se estudia el sector del Modelo Estándar que describe a la interacción fuerte. Se desarrollan técnicas teóricas apropiadas para el estudio del sector hadrónico en sus diferentes fases y se presentan los resultados experimentales relevantes al área.
	<b>Asignatura: Especialidad – Partículas y Campos</b> Prerequisitos: Teoría Cuántica de Campos I – Física de Partículas I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Al finalizar el curso los estudiantes habrán aprendido los conceptos y métodos teóricos de la Cromodinámica Cuántica (QCD) y su rol en la Física de Partículas elementales.
<b>Contenidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cromodinámica Cuántica y aplicaciones a núcleos y hadrones.</li> <li>▪ Funciones de estructura.</li> <li>▪ Modelo de partones.</li> <li>▪ Expansión de producto de operadores de Wilson.</li> <li>▪ Ecuaciones de evolución (Dokshitzer-Gribov-Lipatov-Altarelli-Parisi)</li> <li>▪ Modelos de confinamiento.</li> <li>▪ Simetrías de QCD</li> <li>▪ Lagrangianos efectivos y quirales</li> <li>▪ Propiedades de sistemas de quarks pesados</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Examen escrito y tareas
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ T.P. Cheng, L.F. Li: Gauge Theory of Elementary Particles Physics (Oxford Univ. Press).</li> <li>▪ T. Muta: Foundation of Quantum Chromodynamics: An Introduction to Perturbative Methods in Gauge Theories (World Scientific).</li> <li>▪ Quang Ho-Kim, Xuan-Yem Pham, Elementary Particles and Their Interactions, (Springer).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b> Publicaciones científicas del área.</p>

<b>Nombre del curso</b>	<b>MÉTODOS MATEMÁTICOS DE LA FÍSICA</b> Código USM: FIS380 Código PUCV: FIS878
<b>Descripción del curso</b>	Esta asignatura tiene como finalidad de que los estudiantes desarrollen capacidad de análisis matemático de problemas físicos. Los objetivos generales de la asignatura son: presentar la teoría de grupos de Lie, y por otra presentar el núcleo central de la geometría diferencial.
	<b>Asignatura: Especialidad – Partículas y Campos</b> Prerequisitos: Mecánica Cuántica I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Familiarizar a los estudiantes con el lenguaje, técnicas, conceptos y métodos matemáticos asociados a Algebras de Lie y geometría diferencial.
<b>Contenidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tensores cartesianos</li> <li>▪ Geometría Riemanniana</li> <li>▪ formas diferenciales</li> <li>▪ Aplicaciones de Geometría Diferencial</li> <li>▪ Aspectos generales de Teoría de grupos</li> <li>▪ Grupos de Lie</li> <li>▪ Aplicaciones de grupos de Lie</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Examen escrito y tareas
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ H. Georgi: Lie Algebras in Particle Physics (Westview).</li> <li>▪ J.F. Cornwell: Group Theory in Physics. An Introduction (Academic Press)</li> <li>▪ Wu-Ki Tung: Group Theory in Physics (World Scientific)</li> <li>▪ Schutz B. F.: Geometrical methods of mathematical physics. Cambridge Univ. Press, Cambridge 1982</li> <li>▪ Spivak M.: Calculus on Manifolds: A Modern Approach to Classical Theorems of Advanced Calculus. Perseus Press 1996.</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Jean-Bernard Zuber, Invariances in Physics and Group Theory (M2/International Centre for Fundamental Physics, 2014)</li> <li>▪ Dresselhaus, Mildred S., Dresselhaus, Gene, Jorio, Ado, Group Theory,(Springer, 2008)</li> <li>▪ D. G. B. Edelen: Applied Exterior Calculus, (Dover 2005)</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TEORÍA DE GRUPOS Y SUS APLICACIONES EN FÍSICA</b> Código USM: FIS383 Código PUCV: FIS906
<b>Descripción del curso</b>	Se formalizan los conceptos relacionados con la teoría de grupos y representaciones, enfatizando los resultados en grupos de Lie. Dada la importancia de los grupos de Lie unitarios en mecánica cuántica, se dedica una sección especial al estudio de dichos grupos. Se muestra además cómo las simetrías de un sistema sirven para poder construir modelos teóricos de los mismos.
	<b>Asignatura: Especialidad – Partículas y Campos</b> Prerequisitos: Mecánica Cuántica I, Mecánica Cuántica II Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Al final del curso el estudiante habrá aprendido los conceptos y métodos de la teoría de grupos y sus aplicaciones en física.
<b>Contenidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grupos finitos. Grupos de Lie.</li> <li>▪ Raíces y pesos.</li> <li>▪ Representaciones irreducibles de SU(N).</li> <li>▪ El átomo de hidrógeno. El modelo de capas del núcleo.</li> <li>▪ Coeficientes de Clebsch–Gordan.</li> <li>▪ Vía Octuple. Modelo de los Quarks.</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Examen escrito u otra forma de evaluación que defina el profesor al iniciar el curso.
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ H. Georgi: Lie Algebras in Particle Physics (Westview).</li> <li>▪ J.F. Cornwell: Group Theory in Physics. An Introduction (Academic Press).</li> <li>▪ Wu-Ki Tung: Group Theory in Physics (World Scientific).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R. Slansky: Group Theory for Unified Model Building, Physics Reports, 1 (1981) 1-128.</li> <li>▪ P. Ramond: Group Theory. A physicist's survey (CUP) 2010.</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES DE CAMPOS Y PARTÍCULAS I y II</b> Código USM: FIS493/494 Código PUCV: FIS860/861
<b>Descripción del curso</b>	La asignatura de “Tópicos especiales” corresponde a un conjunto de temas específicos y avanzados vinculados a la Tesis desarrollada por el alumno que cursa la asignatura. En general los tópicos cubiertos no han sido parte de las asignaturas de especialidad o requieren de una mayor nivel de profundidad para ser empleados de manera efectiva en el desarrollo de la Tesis de grado. Está asignatura es usualmente impartida en modalidad tutorial. Los tópicos específicos, son en este caso del área de <b>Partículas y campos</b> , son definidos para cada asignatura por el profesor de la misma y propuestos al Comité de Programa para su aprobación.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Partículas y campos</b> Prerequisitos: Teoría Cuántica de Campos I, Física de Partículas I. Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Entregar al estudiante una formación avanzada en temas específicos de su área ( <b>Partículas y campos</b> ) que tengan relación directa con el trabajo de investigación que realiza en el marco de su Tesis de grado.
<b>Contenidos</b>	▪ A definir
<b>Modalidad de evaluación</b>	A definir por el profesor al inicio del curso
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> Publicaciones científicas del área, tanto artículos originales como de revisión.
	<b>Recomendada:</b>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES DE CAMPOS Y PARTÍCULAS I ó II</b> <b>Del Lagrangiano al Histograma – Cálculos fenomenológicos realistas para el LHC</b> Código USM: FIS493/FIS494 Código PUCV: FIS860/FIS861
<b>Descripción del curso</b>	En este curso se estudiará el proceso que lleva desde la formulación teórica de modelos en Física de partículas a predicciones que puedan ser contrastadas con datos experimentales. Para ello, se estudiarán técnicas de simulación, características de los detectores empleados hoy en facilidades experimentales en distintos laboratorios y paquetes computacionales empleados tanto en la simulación como en el análisis de resultados.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Partículas y Campos</b> Prerequisitos: Física de Partículas I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Preparar a los estudiantes para hacer cálculos fenomenológicos realistas, de procesos de Física de Partículas en colisionadores
<b>Contenidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión de las principales características de colisiones hadrónicas</li> <li>▪ Método de Monte Carlo: Integración y generación de eventos.</li> <li>▪ LanHEP: Generación automática de Reglas de Feynman</li> <li>▪ CalcHEP: Cálculo partónico, distribuciones, cortes cinemáticos y generación de eventos</li> <li>▪ Análisis de eventos con PAW (o ROOT)</li> <li>▪ Hadronización y efectos realistas: Introducción a Pythia</li> <li>▪ Introducción a PGS4 (Pretty Good Simulator).</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Tareas y proyecto final
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ V, Barger and J. Phillips, “Collider Physics”, Frontier in Physics, 1996</li> <li>▪ D. Green, “High P.T. Physics at Hadron Collider”</li> <li>▪ A. Belyaev, N.D. Cristensen and A. Pukhov, “CalcHEP 3.4 for collider physics within and beyond the Standard Model,” arXiv: 1207.6082 [hep-ph].</li> <li>▪ K. Kong, “TASI 2011: CalcHEP and PYTHIA Tutorials,” arXiv: 1207.0035</li> <li>▪ A.Belyaev, “HEP Computer Tools”,  <a href="http://www.hep.phys.soton.ac.uk/~belyaev/proj/intro_hep_tools/msu/intro_to_hep_tools.pdf">http://www.hep.phys.soton.ac.uk/~belyaev/proj/intro_hep_tools/msu/intro_to_hep_tools.pdf</a> </li> </ul>



**Doctorado en Ciencias Físicas**  
*Programa Conjunto*  
*Universidad Técnica Federico Santa María*  
*Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*



---

	<b>Recomendada:</b>
--	---------------------

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES DE CAMPOS Y PARTÍCULAS I ó II</b> <b>PROBLEMAS DE RENORMALIZACIÓN EN QCD</b> Código USM: FIS493/FIS494 Código PUCV: FIS860/FIS861
<b>Descripción del curso</b>	Introducción a la física experimental de neutrinos con énfasis en el desarrollo de las habilidades computacionales y estadísticas necesarias para iniciar la investigación en el campo.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Partículas y Campos</b> Prerequisitos: Física de Partículas I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio:
<b>Objetivos</b>	Durante esta asignatura el estudiante aprenderá acerca de la física experimental de neutrinos. Las técnicas de análisis experimental serán discutidas mediante ayuda del uso de software y programación computacional, todo esto en el contexto de los experimentos vigentes que lideran este campo. Se espera que el estudiante adquiera los conocimientos necesarios que permitan su aplicación práctica en un experimento de neutrinos. Se espera que el estudiante pueda exponer su trabajo ante grupos de expertos.
<b>Contenidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Física de Neutrinos; incluyendo resultados actuales teóricos y experimentales.</li> <li>▪ Física de Interacciones de Neutrinos; dispersión quasi-elástica, efectos nucleares relevantes, Deep Inelastic Scattering).</li> <li>▪ Experimentos actuales; incluyendo interacciones de partículas con la materia y propiedades de los detectores.</li> <li>▪ Análisis en experimentos de Neutrinos; incluyendo estadística en física experimental y entornos de trabajo con software (frameworks) y computación, simulaciones y reconstrucción de eventos.</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Tareas (20%), Proyectos prácticos (60%), Examen (20%).
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> Documentación interna a MINERVA, notas técnicas y tesis. Capítulos 8 y 9 de “Quarks and leptons: an introductory course in modern particle physics”, 1984, Halzen, F. and Martin, A. D. Capítulos 2, 4, 7, 8, 9 de “Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How-To Approach” , 1994, Leo, W. R

	<p><b>Recomendada:</b> “Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics”, 2007, C. Giunti and C. W. Kim.</p>
--	--

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES DE CAMPOS Y PARTÍCULAS I ó II</b> <b>FÍSICA MÁS ALLÁ DEL MODELO ESTÁNDAR</b> Código USM: FIS493/FIS494 Código PUCV: FIS860/FIS861
<b>Descripción del curso</b>	En esta asignatura el estudiante se familiarizará con las extensiones más importantes al Modelo Estándar y, en ellas, aquellas que sean más relevantes al trabajo de tesis de los estudiantes.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Partículas y Campos</b>  Prerequisitos: Teoría Cuántica de Campos I, Física de Partículas I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Conocer los problemas del Modelo Estándar y la necesidad de extenderlo</li> <li>2 Conocer las principales extensiones del Modelo Estándar y sus fundamentos teóricos y fenomenológicos.</li> <li>3 Desarrollar los modelos pertinentes al trabajo de tesis de los estudiantes</li> </ol>
<b>Contenidos</b>	El contenido exacto dependerá de los intereses de los estudiantes. Sin embargo puede comprender los siguientes tópicos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Supersimetría</li> <li>- Modelos de Higgs Compuesto</li> <li>- Mecanismo de generación de masa para los neutrinos y modelos con neutrinos pesados</li> <li>- Modelos con simetrías de gauge extendidas</li> <li>- Modelos con sectores de Higgs extendidos</li> <li>- Modelos de Materia Oscura.</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	El curso se evaluará por medio de exposiciones, tareas y un proyecto final
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R. N. Mohapatra “Unification and Supersymmetry, The Frontiers of Quark-Lepton Physics” 3rd ed., Springer.</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <p>Para modelos de dos dobletes de Higgs.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ G. C. Branco, P. M. Ferreira, L. Lavoura, M. N. Rebelo, M. Sher and J. P. Silva, “Theory and phenomenology of</li> </ul>

	<p>two-Higgs-doublet models," Phys. Rept. 516, 1 (2012) [arXiv:1106.0034 [hep-ph]].</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ G. Bhattacharyya and D. Das, "Scalar sector of Two-Higgs-Doublet models: A mini-review," arXiv:1507.06424 [hep-ph].</li> <li>▪ C. Kelso, H. N. Long, R. Martinez and F. S. Queiroz, "Connection of g-2, electroweak, dark matter, and collider constraints on 331 models," Phys. Rev. D <b>90</b>, no. 11, 113011 (2014) doi:10.1103/PhysRevD.90.113011 [arXiv:1408.6203 [hep-ph]].</li> <li>▪ P. V. Dong and H. N. Long, "The Economical SU(3)(C) X SU(3)(L) X U(1)(X) model," Adv. High Energy Phys. 2008, 739492 (2008) doi:10.1155/2008/739492 [arXiv:0804.3239 [hep-ph]].</li> <li>▪ S. M. Boucenna, R. M. Fonseca, F. Gonzalez-Canales and J. W. F. Valle, "Small neutrino masses and gauge coupling unification," Phys. Rev. D <b>91</b>, no. 3, 031702 (2015) doi:10.1103/PhysRevD.91.031702 [arXiv:1411.0566 [hep-ph]].</li> <li>▪ M. Wei and Y. Chong-Xing, "Charged Higgs bosons from the 3-3-1 models and the R(D<sup>*</sup>) anomalies," Phys. Rev. D <b>95</b>, no. 3, 035040 (2017) doi:10.1103/PhysRevD.95.035040 [arXiv:1702.01255 [hep-ph]].</li> <li>▪ Otras publicaciones científicas del area.</li> </ul>
--	--

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES DE CAMPOS Y PARTÍCULAS I ó II</b> <b>PROBLEMAS DE RENORMALIZACIÓN EN QCD</b> Código USM: FIS493/FIS494 Código PUCV: FIS860/FIS861
<b>Descripción del curso</b>	Se estudiará varios aspectos de renormalización en teorías de calibración, resaltando las diferencias entre el caso abeliano y no-abeliano. Implementamos explícitamente la renormalización a nivel de un lazo en la Cromodinámica Cuántica (QCD), usando la regularización dimensional.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales -Partículas y Campos</b> Prerequisitos: Física de Partículas II Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Al finalizar el curso, es estudiante habrá aprendido sobre la Dependencia de Escala y de esquemas en QCD, problemas de running y coupling en QCD.
<b>Contenidos</b>	Introducción a la Cromodinámica cuántica (QCD); renormalización de QCD a nivel de un lazo (QCD perturbativa), con el método de contratérminos y con el método de corte ultravioleta variable; la correspondiente ecuación de grupo de renormalización para el acoplamiento evolutivo de QCD; fijación de esquema y de escala en evaluación de cantidades físicas de QCD, el problema de singularidades de Landau del acoplamiento evolutivo (“running”), y regularización de este problema -> QCD holomórfica (analítica).
<b>Modalidad de evaluación</b>	Basado en la participación y las exposiciones
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ T. Muta, Foundations of Quantum Chromodynamics (World Scientific, 2000)</li> <li>▪ M.E. Peskin and D.V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory (Addison-Wesley, 1995)</li> <li>▪ 3. M.D. Schwartz, Quantum Field Theory and the Standard Model (Cambridge Univ. Press, 2014)</li> </ul> <b>Recomendada:</b>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES DE CAMPOS Y PARTÍCULAS I ó II</b> <b>MÉTODOS NO PERTURBATIVOS DE LA TEORÍA DE CAMPOS</b> Código USM: FIS494 Código PUCV: FIS861
<b>Descripción del curso</b>	El curso introduce la teoría efectiva como una herramienta importante de física que permite desacoplar fenómenos asociados con diferentes escalas de energía y estudiarlos por separado. Se desarrolla la teoría efectiva de los campos cuánticos y se demuestran sus aplicaciones al estudio la física más allá del modelo estándar.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Partículas y Campos</b> Prerequisitos: Teoría Cuántica de Campos I y Teoría Cuántica de Campos II Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Al finalizar el curso es estudiante habrá aprendido del concepto de la teoría efectiva, sus métodos con aplicaciones a la teoría de partículas elementales.
<b>Contenidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuadro de Wilson de renormalización</li> <li>▪ “Integrating out” de los grados de libertad pesados</li> <li>▪ Acción efectiva</li> <li>▪ Escalas de “matching “ y grupo de renormalización</li> <li>▪ Expansión del producto de operadores</li> <li>▪ Modelo Estandar como la teoría efectiva</li> <li>▪ eoría de perturbación quiral.</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Tareas y certámenes
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory (Addison.–Wesley).</li> <li>▪ S. Weinberg: The Quantum Theory of Fields, Vol II (Cambridge).</li> </ul>
	<b>Recomendada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Th. Mannel, “Effective Field Theories in Flavour Physics”, Springer Tracts in Modern Physics Vol. 203 (2004, Springer)</li> <li>▪ H. Georgi, “Weak Interactions and Modern Particle Theory”(1984, Benjamin/Cummings)</li> <li>▪ M.D Schwartz, Quantum Field Theory and the Standard Model (2014, Cambridge University Press).</li> </ul>

### 3.- Asignaturas de Especialidad: Materia Condensada

<b>Nombre del curso</b>	<b>LABORATORIO DE FÍSICA AVANZADA</b> Código USM: FIS469 Código PUCV: FIS907
<b>Descripción del curso</b>	En esta asignatura los estudiantes recibirán una formación complementaria al trabajo de Tesis que están realizando. Para estudiantes teóricos la idea es que ellos desarrollen un trabajo experimental, precisamente en sistemas o materiales vinculados directamente a su trabajo de Tesis. Para estudiantes del ámbito experimental, el propósito es vincular su trabajo de laboratorio a técnicas espectroscópicas, no directamente vinculados a su Tesis, pero que ayuden a darle una perspectiva adicional al trabajo realizado. La modalidad de ejecución es de trabajo independiente, realizado con la supervisión del profesor de la asignatura.
	<b>Asignatura de Especialidad – Materia Condensada</b> PREREQUISITOS: Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: 8
<b>Objetivos</b>	Familiarizar al estudiante con la ejecución de trabajos prácticos con algunas técnicas de espectroscopía y caracterización de materiales que sea complementaria al desarrollo de su Tesis.
<b>Contenidos</b>	Los tópicos considerados para el trabajo del estudiante se vincula a la lista uindicada a continuación. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Física de superficies.</li> <li>▪ Microscopía de puntas de prueba</li> <li>▪ Espectroscopía de iones.</li> <li>▪ Espectroscopía óptica.</li> <li>▪ Transporte eléctrico.</li> <li>▪ Síntesis de Materiales</li> <li>▪ Sistemas magnéticos</li> <li>▪ Estructura óptica y electrónica de sistemas nanoestructurados</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	De acuerdo a pauta del profesor, según exposición de resultados obtenidos.
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiments in Modern Physics, second edition, A. C. Melissionos and J. Napolitano.</li> </ul> <b>Recomendada:</b> Publicaciones científicas del área

<b>Nombre del curso</b>	<b>TEORÍA CUÁNTICA DE MUCHAS PARTICULAS I</b> Código USM: FIS430 Código PUCV: FIS862
<b>Descripción del curso</b>	En este curso se abordan diferentes técnicas de modelamiento y cálculo de sistemas cuánticos de muchas partículas
	<b>Asignatura de Especialidad – Materia Condensada</b> PREREQUISITOS: Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio:
<b>Objetivos</b>	Aprendizaje de conceptos y métodos de investigación en la física de sistemas cuánticos de muchas partículas.
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Segunda Cuantización.</li> <li>2. Funciones de Green y Teoría de Campos.</li> <li>3. Sistemas de Fermi.</li> <li>4. Respuesta lineal y modos colectivos.</li> <li>5. Sistemas de Bose.</li> </ol>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Evaluación de tareas y exposición de temas asignados
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A. Fetter y J. Walecka: <i>Quantum Theory of Many Particle Systems</i> (McGraw–hill).</li> <li>▪ J.M. Ziman: <i>Elements of Advanced Quantum Theory</i> (Cambridge Univ. Press).</li> </ul>
	<b>Recomendada:</b>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TEORÍA CUÁNTICA DE MUCHAS PARTICULAS II</b> Código USM: FIS431 Código PUCV: FIS908
<b>Descripción del curso</b>	En este curso se profundizan los contenidos de la asignatura FIS430/862: Teoría Cuántica de Muchas Partículas I, y se abordan nuevos temas de estudio de sistemas cuánticos de muchas partículas. Entre los temas se incluyen superconductividad y superfluidez.
	<b>Asignatura de Especialidad – Materia Condensada</b> PREREQUISITOS: Teoría Cuántica de Muchas Partículas I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Aprendizaje de conceptos y métodos de investigación en la física de muchas partículas. En este segundo curso se espera que el estudiante profundice en los conceptos con sistemas con interacción de muchos cuerpos a temperatura finita
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistemas físicos a temperatura finita.</li> <li>2. Funciones de Green en tiempo real y respuesta lineal.</li> <li>3. Transformaciones Canónicas.</li> <li>4. Electrones y fonones.</li> <li>5. Superconductividad</li> <li>6. Superfluidez</li> </ol>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Evaluación de tareas y exposición de temas asignados
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ E.M. Lifshitz and L.P. Pitaevskii: <i>Statistical Physics, Landau &amp; Lifshitz Course of Theoretical Physics</i> Vol. 9.</li> <li>▪ A. Fetter y J. Walecka: <i>Quantum Theory of Many Particle Systems</i> (McGraw–hill).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p>

<b>Nombre del curso</b>	<b>FÍSICA DE SÓLIDOS I</b> Código USM: FIS450 Código PUCV: FIS863
<b>Descripción del curso</b>	La Física de sólidos es una rama de la Física de la materia condensada que estudia el comportamiento de conglomerados de átomos interactuantes que forman la materia en su estado sólido. En este curso se estudian las propiedades físicas de sólidos cristalinos en los cuales los átomos o grupos de átomos, que conforman el sólido, se distribuyen en forma periódica en el espacio.
	<b>Asignatura de Especialidad – Materia Condensada</b> PREREQUISITOS: Mecánica Cuántica I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio:
<b>Objetivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Integrar conocimientos de las teorías fundamentales de la mecánica cuántica, el electromagnetismo, la mecánica clásica y la Física estadística para entender y caracterizar diferentes fenómenos de la física de los sólidos.</li> <li>▪ Aprender los conceptos básicos de la teoría de los sólidos cristalinos y su aplicación a problemas de la Física actual.</li> </ul>
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Electrones libres en metales             <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Modelo de Drude, aciertos y falencias</li> <li>1.2. Modelo cuántico de un gas de electrones</li> <li>1.3. Conductividad térmica y eléctrica de un gas de electrones</li> <li>1.4. Movimiento en un campo magnético, efecto Hall.</li> </ol> </li> <li>2. Enlaces Atómicos             <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Enlaces covalentes, enlaces iónicos, enlaces metálicos, enlaces de hidrógeno y enlaces de van der Waals.</li> </ol> </li> <li>3. Estructura Cristalina             <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. Elementos de Cristalografía</li> <li>3.2. Estructuras cristalinas simples</li> <li>3.3. Red recíproca</li> <li>3.4. Determinación de Estructuras Cristalinas (Difracción de rayos X)</li> </ol> </li> <li>4. Hamiltoniano de un sólido             <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. La aproximación adiabática</li> <li>4.2. La aproximación de Hartree-Fock</li> </ol> </li> <li>5. Electrones en un Potencial Periódico</li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>5.1. Propiedades generales de simetría</li> <li>5.2. Teorema de Bloch</li> <li>5.3. Aproximación de electrones casi libres</li> <li>5.4. Aproximación de Enlace Fuerte</li> <li>6. Dinámica de átomos en cristales <ul style="list-style-type: none"> <li>6.1. El potencial</li> <li>6.2. La ecuación de movimiento</li> <li>6.3. Cadena diatómica lineal</li> <li>6.4. Vibraciones de una red tridimensional</li> </ul> </li> <li>Fonones</li> <li>7. Propiedades Térmicas de Redes Cristalinas <ul style="list-style-type: none"> <li>7.1. Calor específico (Modelo de Einstein, Modelo de Debye)</li> <li>7.2. Expansión térmica</li> <li>7.3. Conductividad Térmica</li> </ul> </li> <li>8. Propiedades Magnéticas de Sólidos <ul style="list-style-type: none"> <li>8.1. Diamagnetismo y Paramagnetismo</li> <li>8.2. Interacción de intercambio, ferromagnetismo y antiferromagnetismo</li> <li>8.3. Dominios ferromagnéticos, materiales blandos y duros</li> </ul> </li> <li>9. Semiconductores <ul style="list-style-type: none"> <li>9.1. Semiconductores intrínsecos</li> <li>9.2. Semiconductores dopados, comportamiento extrínseco</li> <li>9.3. Conductividad de semiconductores</li> <li>9.4. Heteroestructuras semiconductoras</li> <li>9.5. Dispositivos semiconductores importantes (Juntura p-n, el transistor)</li> <li>9.6. Laser semiconductor</li> </ul> </li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Exámenes, tareas y exposiciones
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Neil W. Ashcroft y N. David Mermin, <i>Solid State Physics</i> (Saunders College Publishing, Philadelphia, (1976), ISBN: 0030493463)</li> <li>▪ Charles Kittel, <i>Introduction to Solid State Physics</i> (8<sup>th</sup> Edition, John Wiley &amp; Sons (2005). ISBN 0-471 -41526-X )</li> <li>▪ Harald Ibach y Hans Lüth, <i>Solid-State Physics: an introduction to the principles of materials science</i> (4<sup>rd</sup> Edition, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (2009) ISBN:978-3-540-93803-3).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p>

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Giuseppe Grosso y Giuseppe Pastore Parravicini, <i>Solid State Physics</i> (Academic Press, (2000) ISBN-10: 012304460X).</li><li>▪ Michael P. Marder, <i>Condensed Matter Physics</i>, (Wiley, New York (2000) ISBN: 0471177792).</li><li>▪ Steven H. Simon, <i>The Oxford Solid State Basics</i> (Oxford University press, (2013) ISBN: 978-0-19-968077-1 ).</li></ul>
--	---

<b>Nombre del curso</b>	<b>FÍSICA DE SÓLIDOS II</b> Código USM: FIS451 Código PUCV: FIS864
<b>Descripción del curso</b>	Curso avanzado de Física de Sólidos en el que se estudian los diferentes modelos que dan cuenta de las interacciones colectivas en los sólidos.
	<b>Asignatura de Especialidad – Materia Condensada</b> PREREQUISITOS: Física de Sólidos I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio:
<b>Objetivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conocer diferentes modelos que describen las interacciones en un sólido.</li> <li>▪ Comprender y describir los modos colectivos que dan lugar a excitaciones elementales.</li> <li>▪ Aplicar estos modelos en sistemas reales y proponer y/o conducir investigaciones en estos temas.</li> </ul>
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gas de N electrones sin interacción             <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Estado fundamental</li> <li>1.2. Estados excitados: pares electrón-hueco</li> <li>1.3. Electrones libres en un campo eléctrico.</li> <li>1.4. Electrones libres en un campo magnético</li> <li>1.5. Diamagnetismo y paramagnetismo de electrones libres. Efecto Hass-van Alphen</li> </ol> </li> <li>2. Electrones en un potencial periódico             <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Grupo de translaciones y zona de Brillouin</li> <li>2.2. Grupo puntual y grupo espacial del cristal</li> <li>2.3. Grupo del vector de onda y teorema de Bloch.</li> <li>2.4. Grupo de operaciones sobre funciones de Bloch</li> <li>2.5. Aplicación de teoría de grupos en el cálculo de bandas de energía electrónica</li> </ol> </li> <li>3. Excitaciones elementales             <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. Aproximación de Hartree–Fock</li> <li>3.2. Modelo de <i>Jelium</i> y modelo de iones rígidos.</li> <li>3.3. Gas de electrones interactuantes: Quasi electrones y plasmones</li> <li>3.4. Apantallamiento y función dieléctrica (Linhart, Thomas fermi)</li> <li>3.5. Interacción electrónica en semiconductores y aisladores: Excitones de Wannier, de Frenkel</li> <li>3.6. Interacción ion- ion: Fonones: Relaciones de dispersión para cristal cúbico;</li> </ol> </li> </ol>

	<p>3.7. Límite de onda larga. 3.8. Interacción Spin–Spin: magnones</p> <p>4. Propiedades Ópticas 4.1. Función dieléctrica. 4.2. Espectros de absorción y reflexión. 4.3. Fotoluminiscencia: Scattering de Raman y de Brillouin.</p> <p>5. Fenómenos de Transporte; ecuación de Boltzmann. 5.1. Conductividad eléctrica de metales y semiconductores.</p> <p>6. Superconductividad: pares de Cooper, efecto Meissner–Ochsenfeld</p>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Exámenes, tareas y exposiciones, según definición del profesor de la asignatura.
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Otfried Madelung, <i>Introduction to solid-state theory</i> (Springer Series in Solid- State Sciences, (1978) ISBN 978-3-642-61885-7).</li> <li>▪ Giuseppe Grosso y Giuseppe Pastore Parravicini, <i>Solid State Physics (Academic Press, (2000) ISBN-10: 012304460X).</i></li> </ul>
	<p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eleftherios N. Economou, <i>The Physics of Solids, Essential and Beyond</i> (Springer Heidelberg London New York (2010) ISBN 978-3-642-02068-1).</li> <li>▪ John J. Quinn and Kyung-Soo Yi, <i>Solid State Physics: Principles and Modern Applications</i> (Springer (2009) ISBN 978-3-540-92231-5).</li> <li>▪ Neil W. Ashcroft and N. David Mermin, <i>Solid State Physics</i> (Saunders College Publishing, Philadelphia, (1976), ISBN: 0030493463).</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES EN FÍSICA DE MATERIA CONDENSADA I y II</b> Código USM: FIS495/496 Código PUCV: FIS874/875
<b>Descripción del curso</b>	La asignatura de “Tópicos especiales” corresponde a un conjunto de temas específicos y avanzados vinculados a la Tesis desarrollada por el alumno que cursa la asignatura. En general los tópicos cubiertos no han sido parte de las asignaturas de especialidad o requieren de una mayor nivel de profundidad para ser empleados de manera efectiva en el desarrollo de la Tesis de grado. Está asignatura es usualmente impartida en modalidad tutorial. Los tópicos específicos, son en este caso del área de <b>Materia Condensada</b> . Ellos son definidos para cada asignatura por el profesor de la misma y propuestos al Comité de Programa para su aprobación.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Materia Condensada</b> Prerequisitos: Física de sólidos I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Entregar al estudiante una formación avanzada en temas específicos de su área ( <b>Materia condensada</b> ) que tengan relación directa con el trabajo de investigación que realiza en el marco de su Tesis de grado.
<b>Contenidos</b>	A definir
<b>Modalidad de evaluación</b>	▪ A definir por el profesor al inicio del curso
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> Publicaciones científicas del área, tanto artículos originales como de revisión.
<b>Bibliografía</b>	<b>Recomendada:</b>

<p><b>Nombre del curso</b></p>	<p><b>TÓPICOS ESPECIALES EN FÍSICA DE MATERIA CONDENSADA I ó II</b> <b>MÉTODOS COMPUTACIONALES PARA PROBLEMAS APLICADOS</b> Código USM: FIS495/FIS496 Código PUCV: FIS874/FIS875</p>
<p><b>Descripción del curso</b></p>	<p>Este curso presenta teoría y aplicación de métodos de simulación computacional para átomos y partículas con el objetivo de: modelar, entender y predecir propiedades multiescala de materiales reales (gases, líquidos y sólidos). Se incluye:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelos de energía derivados desde primeros principios a potenciales clásicos y de muchos cuerpos;</li> <li>2. Simulaciones Montecarlo y de dinámica molecular;</li> <li>3. Colectividad termodinámica, energía libre y transiciones de fase;</li> <li>4. Tratamiento de fuerzas de largo alcance;</li> <li>5. Fluctuaciones y cálculo de propiedades de transporte;</li> <li>6. Aproximaciones de multiescala y modelos mesoscópicos;</li> <li>7. Hidrodinámica de partículas;</li> <li>8. Dinámica de partículas disipativas.</li> </ol> <p>Este curso emplea casos de estudio desde aplicaciones industriales de materiales avanzados hasta la nanotecnología. Varios laboratorios computacionales darán a los estudiantes experiencia directa con simulaciones en paquetes LAMMPS de campos de fuerza y dinámica molecular.</p>
	<p><b>Asignatura de Tópicos Especiales – Materia Condensada</b> PREREQUISITOS: Mecánica Estadística, conocimientos básicos de lenguaje de programación C o derivados Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -</p>
<p><b>Objetivos</b></p>	<p>El objetivo de este curso especial es profundizar el conocimiento de los estudiantes de postgrado en el área de materia condensada, con especial énfasis en los métodos computacionales para modelar y predecir propiedades multiescala de materiales reales (gases, líquidos y sólidos).</p>
<p><b>Contenidos</b></p>	<p>Unidad 1: Modelos de energía</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Construyendo funciones de potencial;</li> <li>2. Modelos de interacción para diferentes aplicaciones;</li> </ol>

	<p>3. Interacciones interatómicas y diferentes formas de crear enlaces; 4. Potenciales moleculares; 5. Modelos para metales, covalentes y materiales basados en carbón; 6. Efectos de “muchos cuerpos” en potenciales empíricos; 7. Trucos de modelamiento; calculando fuerzas e implicaciones del acortamiento de la duración de interacción.</p> <p>Unidad 2. Simulaciones Monte Carlo 8. Integración Monte Carlo; 9. Muestreo preferencial; 10. Método de Metrópolis; 11. Métodos de Monte Carlo isotérmicos, isobáricos y macro canónica; 12. Trucos de simulación: condiciones de frontera periódicas, manejo de fuerzas de largo alcance y listas de vecinos.</p> <p>Unidad 3. Simulaciones en dinámica molecular 13. Ecuaciones de movimiento y su integración; 14. Colectividad NVE, NVT, y NPT; 15. Fluctuaciones y cálculo de propiedades de transporte; 16. Restricciones dinámicas; 17. Minimización de energía; 18. Mecánica molecular.</p> <p>Unidad 4: Métodos mesoescala y mesoscópicos 19. Ejemplos de polímeros; 20. Desde potenciales empíricos de muchos cuerpos a hidrodinámica suave de partículas; 21. Dinámica de partículas disipativa.</p> <p>Unidad 5: Aplicaciones 22. Reacciones químicas; 23. Sistemas tribológicos y líquidos iónicos; 24. Manipulación de nanoobjetos con fuerza atómica lateral; 25. Nanopartículas magnéticas</p>
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>Habrán tres formas de evaluación, cada una con un peso relativo en el notal final del curso.</p> <p>Informes Parciales (20%): Al final de cada unidad los estudiantes enviarán electrónicamente un informe de sus progresos parciales en el laboratorio y un informe de la unidad.</p>

	<p>Trabajo de campo (60%): Se evaluarán los progresos de cada estudiante en el desarrollo de la simulación correspondiente a cada unidad didáctica.</p> <p>Presentación final (20%): Al final del curso los estudiantes presentarán un informe y harán una presentación oral de las prácticas desarrolladas.</p>
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b>  “Computer Simulations of Liquids”, M.P.Allen, D.J. Tildesley;  LAMMPS manual  <a href="http://lammps.sandia.gov/doc/Manual.html">http://lammps.sandia.gov/doc/Manual.html</a></p> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ “A Guide to Monte Carlo Simulations in Statistical Physics”, D. P. Landau, Kurt Binder;</li> <li>▪ “Understanding molecular simulation: from algorithms to applications”, D. Frenkel, B. Smit;</li> <li>▪ “Numerical Simulations in Molecular Dynamics” M. Griebel, S. Knapek, G. Zumbusch.</li> </ul>

<p><b>Nombre del curso</b></p>	<p><b>TÓPICOS ESPECIALES EN FÍSICA DE MATERIA CONDENSADA I ó II</b> <b>TRANSPORTE ELÉCTRICO EN MATERIALES</b> Código USM: FIS495/FIS496 Código PUCV: FIS874/FIS875</p>
<p><b>Descripción del curso</b></p>	<p>En este curso se revisan los conceptos básicos de transporte eléctrico en películas delgadas, pasando por su formación hasta los mecanismos de dispersión característicos. La componente experimental del curso permite entender cómo los resultados de las mediciones obligan a las modificaciones de los modelos para lograr una mejor comprensión del fenómeno.</p>
<p><b>Objetivos</b></p>	<p><b>Asignatura de Tópicos Especiales – Materia Condensada</b> PREREQUISITOS: Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 3 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comprender las técnicas experimentales que permiten medir coeficientes de Transporte eléctrico en diversos materiales.</li> <li>▪ Comprender las teorías básicas de transporte eléctrico en presencia de campo magnético en metales y semiconductores.</li> <li>▪ Comprender la aplicabilidad de dichas teorías de transporte a resultados experimentales en películas delgadas de diversos materiales</li> </ul>
<p><b>Contenidos</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Técnicas experimentales de caracterización.             <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 Técnicas de caracterización eléctrica                 <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1.1 Técnicas de medición con corriente alterna.</li> <li>1.1.2. Técnicas de medición con corrientes continuas</li> <li>1.1.3. Generación de campo magnético.</li> </ol> </li> <li>1.2. Técnicas de caracterización morfológicas                 <ol style="list-style-type: none"> <li>1.2.1 Microscopía de puntas de Prueba</li> <li>1.2.2 Microscopía electrónica</li> <li>1.2.3 Disfracción de Rayos X.</li> </ol> </li> </ol> </li> <li>2. Modelos de conducción eléctrica en metales simples             <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Modelo de Drude</li> <li>2.2 Modelos basados en la ecuación de transporte de Boltzmann</li> <li>2.3. Introducción a modelos basados en funciones de Green</li> <li>2.4. Coeficientes de Transporte Galvanomagnéticos</li> </ol> </li> </ol>

	<p>2.5. Efectos de tamaño</p> <p>3. Percolación eléctrica</p> <p>3.1. Modelos de crecimiento y percolación.</p> <p>3.2. Exponentes críticos.</p> <p>3.3. Envejecimiento.</p> <p>4. Modelos de conducción eléctrica en semiconductores</p> <p>4.1. Modelo de “n” portadores</p> <p>4.2. Efectos de tamaño.</p> <p>5. Modelos de conducción en medios desordenados.</p> <p>5.1. Efectos de temperatura en medios desordenados</p> <p>5.2. Magnetoresistencia en medios desordenados</p>
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>Habrán tres formas de evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Informes Parciales (20%): Al final de cada unidad los estudiantes enviarán electrónicamente un informe de sus progresos parciales en el laboratorio y un informe de la unidad.</li> <li>- Trabajo de campo (60%): Se evaluarán los progresos de cada estudiante en el desarrollo de la simulación correspondiente a cada unidad didáctica.</li> <li>- Presentación final (20%): Al final del curso los estudiantes presentarán un informe y harán una presentación oral de las prácticas desarrolladas.</li> </ul>
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ N.W. Ashcroft and N.D Mermin. Solid State Physics. Saunders College (1976).</li> <li>▪ J. Singleton. Band theory and Electronic Properties of Solid. Oxford University Press (2001).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p>

<p><b>Nombre del curso</b></p>	<p><b>TÓPICOS ESPECIALES EN FÍSICA DE MATERIA CONDENSADA I ó II</b> <b>TRANSPORTE ELECTRÓNICO Y ÓPTICA EN NANOESTRUCTURAS</b> Código USM: FIS495/FIS496 Código PUCV: FIS874/FIS875</p>
<p><b>Descripción del curso</b></p>	<p>En este curso se abordan diferentes técnicas de modelamiento y cálculo para el estudio del transporte electrónico y fotónico, así como de las propiedades ópticas de sistemas nanoestructurados.</p>
<p><b>Objetivos</b></p>	<p><b>Asignatura de Tópicos Especiales – Materia Condensada</b> PREREQUISITOS: Mecánica Clásica, Estadística Cuántica Electrodinámica, conocimientos básicos de programación, Física de Sólidos I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -</p>
<p><b>Objetivos</b></p>	<p>Curso especial para estudiantes en vías de una tesis de grado en Física de la Materia Condensada. El objetivo de este curso es entregar las herramientas básicas para poder abordar problemas de transporte electrónico y fenómenos ópticos en nanoestructuras</p>
<p><b>Contenidos</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción.             <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Matriz de Transferencia.</li> <li>1.2 Aproximación de ligaduras fuertes.</li> <li>1.3 Matriz de Scattering.</li> <li>1.4 Integral de camino de Feynman.</li> </ol> </li> <li>2. Propagación de electrones y luz en Nanoestructuras.             <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 Transmisión de electrones a través de superredes semiconductoras.</li> <li>2.2 Transmisión de luz a través de estructuras periódicas (cristales fotónicos).</li> <li>2.3 Efectos de desorden (localización).</li> </ol> </li> <li>3. Interacción de Luz con la Materia en Nanoestructuras.             <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 Fotones.</li> <li>3.2. Dualidad onda-partícula en óptica, vacío electromagnético, emisión espontánea.</li> <li>3.5 Cavidades electromagnéticas cuánticas.</li> <li>3.6 Láseres de un átomo.</li> </ol> </li> <li>4. Método de Muchos Cuerpos.             <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1 Integral Funcional. Fermiones y Bosones.</li> <li>4.2. Teoría de Campo Medio. Bosones Esclavos.</li> </ol> </li> </ol>

	4.3 Transporte de dos y más fotones.
<b>Modalidad de evaluación</b>	Tareas y Exposiciones orales
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alexander Altland and Ben Simons, Condensed Matter Field Theory, Cambridge University Press 2006.</li> <li>▪ H. Haug. A.-P. Jauho, Quantum Kinetics in Transport and Optics in Semiconductors, Springer, 1996.</li> <li>▪ E.N. Economou, Green's Functions in Quantum Physics. Springer, Third Edition 2006.</li> <li>▪ Sergey V. Gaponenko, Introduction to Nanophotonics, Cambridge University Press 2010.</li> <li>▪ Peter Markos, Cosa M. Soukoulis, Wave Propagation, Princeton University Press 2008.</li> </ul>
	<p><b>Recomendada:</b></p> <p>Publicaciones científicas de trabajos originales o de revision relativos al area.</p>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES EN FÍSICA DE MATERIA CONDENSADA I o II</b> <b>TEORÍA DEL FUNCIONAL DENSIDAD</b> Código USM: FIS495/FIS496 Código PUCV: FIS874/FIS875
<b>Descripción del curso</b>	En esta asignatura se muestran las bases teóricas del formalismo del funcional densidad y se enseña a utilizar algunas herramientas computacionales de tal manera que el alumno pueda realizar sus propios cálculos de propiedades electrónicas y/o elásticas de materiales, especialmente en aleaciones sólidas cristalinas y también en superficies.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Materia Condensada</b> PREREQUISITOS: Física de Sólidos I, Física Computacional, Mecánica Cuántica I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Preparar al alumno para realizar cálculos de la estructura electrónica de materiales sólidos utilizando el formalismo del funcional densidad.
<b>Contenidos</b>	1.- Teoría funcional densidad, marco teórico 2.- Métodos de cálculo de la estructura electrónica de sólidos. 3.- Métodos numéricos DFT, (VASP, LMTO, Q. Expresso) 4.- Ecuación de estado y propiedades elásticas. 5.- Cálculo de superficies.
<b>Modalidad de evaluación</b>	Tareas y presentaciones orales
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ “Electronic structure: Basic theory and practical methods”, Richard M. Martin, Cambridge University press, 2004.</li> <li>▪ “Density Functional theory: A practical introduction”, David S. Sholl And Jan Steckel, Wiley (2009).</li> <li>▪ • “Handbook of the band structure of elemental solids”, Dimitri A. Papaconstantopoulos, Springer (2015).</li> </ul> <b>Recomendada:</b> Publicaciones científicas y monografías recientes relativa al cálculos DFT para diversos materiales de interés.

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES EN FÍSICA DE MATERIA CONDENSADA I ó II</b> <b>FÍSICA DE NANOMATERIALES I</b> Código USM: FIS495/496 Código PUCV: FIS874/875
<b>Descripción del curso</b>	Este curso es un complemento de los cursos de Física de Sólido I y II. Está orientado a alumnos que deseen hacer su tesis en el área del Magnetismo
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Materia Condensada</b> PREREQUISITOS: Física de Sólidos I, Física de Sólidos II Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Magnetismo en materiales con énfasis en nanomateriales y fenómenos cuánticos.
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aspectos Fenomenológicos del Magnetismo <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 El magnetismo. Desde sus orígenes a nuestros días.</li> <li>1.2. Magnetostática</li> <li>1.3. Magnetismo a escala macroscópica</li> <li>1.4. Magnetismo a escala microscópica</li> <li>1.5. Ferromagnetismo de un sistema ideal</li> <li>1.6. Irreversibilidad de los procesos de imanación y de histéresis en sistemas ferromagnéticos reales.</li> </ol> </li> <li>2. Aspectos teóricos del Magnetismo <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 Magnetismo en el modelo de electrones localizados</li> <li>2.2. Magnetismo en el modelo de electrones itinerantes</li> <li>2.3. La interacción de intercambio</li> <li>2.4. Termodinámica del magnetismo.</li> </ol> </li> <li>3. Fenómenos de Acoplamiento Magnético <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. Acoplamiento magnetocalórico y efectos asociados</li> <li>3.2. Los efectos magneto-elásticos</li> <li>3.3. Los efectos magneto-ópticos</li> <li>3.4. Resistividad Magnética, Magnetoresistencia, Efecto Hall.</li> </ol> </li> <li>4. Nano-magnetismo <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. Magneto-Resistencia Gigante</li> <li>4.2. Comportamiento dinámico de un nano-imán</li> <li>4.3. Aspectos cuánticos de la dinámica de spines</li> </ol> </li> <li>5. Magnetismo Cuántico <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. Ondas de Spin (ferro y antiferro)</li> <li>5.2. Representaciones de los operadores de spin</li> <li>5.3. Integrales de camino</li> </ol> </li> </ol>

Modalidad de evaluación	Evaluación de tareas y exposición de temas asignados
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Derek Craik, Wiley, (1998) "Magnetism, principles and Applications"</li> <li>▪ "Magnetism: Molecules to Materials" VOLS III, IV, Eds. Joel S. Miller and Marc Drillon , Wiley -VCH, 2002</li> <li>▪ J. D. Jackson, "Classical Electrodynamics" , 3rd. Edition. 2001.</li> <li>▪ A.J. Freeman and S. D. Bader "Magnetism Beyond 2000", Edited by, North Holland (1999).</li> <li>▪ D. Gignoux-M.S. Schlenker, "Magnetism, V1 Fundamentals", Springer, (2005)</li> <li>▪ D. Gignoux-M.S. Schlenker, "Magnetism, V2, Materials and Application"s, Springer, (2005)</li> <li>▪ Stohr J., Siegmann, "Magnetism. From fundamentals to nanoscale dynamics" , Springer, (2006)</li> <li>▪ B.D. Cullity "Introduction to Magnetic Materials", Addison-Wesley (1972)</li> <li>▪ Assa Auerbach, "Interacting electrons and quantum magnetism"</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b> Publicaciones recientes en el área de fenómenos magnéticos en Materiales, especialmente en Nanoestructuras Magnéticas.</p>

#### 4.- Asignaturas de Especialidad: Astrofísica, Cosmología y Gravitación

<b>Nombre del curso</b>	<b>RELATIVIDAD GENERAL I</b> Código USM: FIS483 Código PUCV: FIS898
<b>Descripción del curso</b>	En este curso se introducen las bases de la relatividad general con sus principales aplicaciones como la física de los agujeros negros y las ondas gravitacionales. El curso cubre la matemática necesaria al tema: la geometría diferencial y los diferentes experimentos que validan la teoría.
	<b>Asignatura: Especialidad – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b> PREREQUISITOS: Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	El estudiante: -Podrá diferenciar entre las teorías de Mecánica Newtoniana, Relatividad especial y Relatividad general, y sus regímenes de aplicación -Podrá entender conceptos básicos de geometría diferencial -Estará en la capacidad de resolver las ecuaciones de Einstein con simetría esférica -Obtendrá un conocimiento básico sobre las aplicaciones de la Relatividad general por ejemplo ondas gravitacionales y agujeros negros
<b>Contenidos</b>	1. Relatividad Especial <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los principios de la relatividad especial</li> <li>• Transformaciones de Lorentz</li> <li>• Espacio-tiempo de Minkowsky y cuadvectores</li> <li>• Observadores acelerados</li> <li>• Espacio-tiempo de Rindler</li> </ul> 2. Elementos de geometría diferencial <ul style="list-style-type: none"> <li>• El significado matemático de los principios de equivalencia y covarianza</li> <li>• Concepto de Variedad</li> <li>• Vectores covariantes y contravariantes</li> <li>• Álgebra Tensorial</li> <li>• Derivada Covariante y símbolos de Christoffel</li> <li>• Tensores de Riemann y Ricci</li> <li>• Ecuación de la Geodésica</li> </ul> 3. Relatividad General

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravitación y el espacio-tiempo curvo</li> <li>• Las ecuaciones de Einstein</li> <li>• Soluciones con simetría esférica</li> </ul> <p>4. Aplicaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Confirmaciones experimentales de la Relatividad General</li> <li>• Ondas gravitacionales</li> <li>• Constante cosmológica: Espacio-tiempo de Sitter y Anti-de Sitter</li> <li>• Agujeros negros</li> </ul>
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>El sistema de evaluación se basa en la realización de tareas y una presentación oral final.</p>
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity. Sean Carroll, Pearson, 2003.</li> <li>▪ Gravity, An Introduction to Einstein's General Relativity. J. B. Hartle, Addison Wesley, 2003.</li> <li>▪ Steven Weinberg, Gravitation and Cosmology, Principles and Applications of the General Theory of Relativity, Wiley India Pvt Ltd, 2013.</li> <li>▪ Relativity: An Introduction to Special and General Relativity, H. Stephani. Cambridge University Press; 3rd edition, 2004.</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ General Relativity, R. Wald, University Of Chicago Press (1984).</li> <li>▪ A First Course in General Relativity, B. F. Schutz, Cambridge University Press (1985).</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>COSMOLOGÍA I</b> Código USM: FIS484 Código PUCV: FIS910
<b>Descripción del curso</b>	En este curso se introduce a los estudiantes en los conocimientos de la cosmología teórica. Las actividades del curso incluyen cátedras con clases expositivas y disertaciones.
	<b>Asignatura de Especialidad – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b> PREREQUISITOS: Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Estudiar a gran escala el universo a la luz de los datos observacionales que actualmente se encuentran disponibles, introduciendo herramientas tanto en el aspecto teórico como observacionales. Se da cuenta del universo primitivo introduciendo el concepto de inflación y el desarrollo de estructuras.
<b>Contenidos</b>	1. Estructura a gran escala en el Universo. 2. Relatividad General: Ecuaciones de Einstein. 3. Modelos Cosmológicos. 4. Formación de Estructuras. 5. Modelos Inflacionarios. 6. Cosmología Cuántica..
<b>Modalidad de evaluación</b>	Exámenes y tareas
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ V. Narlikav: Introduction to Cosmology (Cambridge University Press).</li> <li>▪ T. Padmanabhan: Structure Formation in the Universe (Cambridge University Press).</li> <li>▪ Edward W. Kolb and Michael S. Turner: The Early Universe (Addison.–Wesley).</li> </ul> <b>Recomendada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A.R. Liddle &amp; D.H. Lyth: .“Cosmological Inflation and Large-Scale Structure.”.Cambridge University Press (2000).</li> <li>▪ J.A. Peacock: .“Cosmological Physics.”. Cambridge University Press (1999).</li> <li>▪ M. Lachièze-Rey &amp; E. Gunzig: The Cosmological Background Radiation.”. Cambridge University Press (1999).</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ B.A. Bassett, S. Tsujikawa &amp; D. Wands: "Inflation Dynamics &amp; Reheating", Rev. Mod. Phys. 78, 537 (2006)</li></ul>
--	---

<b>Nombre del curso</b>	<b>RELATIVIDAD GENERAL II</b> Código USM: FIS485 Código PUCV: FIS899
<b>Descripción del curso</b>	Este curso introduce las ideas y formalismo de la teoría de gravedad de manera moderna y actualizada, tal que el conocimiento se puede aplicar a un espectro amplio de los sistemas acoplados al campo gravitatorio. Se aborda una teoría de gravitación del punto de vista de sus simetrías locales y globales, en el formalismo apto tanto para bosones como para fermiones. Se discuten las teorías generalizadas de gravedad en dimensiones diversas y se analiza su dinámica de borde. Las aplicaciones cubren la dualidad gauge/gravedad y la obtención de una teoría efectiva a través de la reducción dimensional.
	<b>Asignatura: Especialidad – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b> PREREQUISITOS: RELATIVIDAD GENERAL I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	El estudiante: - Conoce las simetrías del espacio-tiempo curvo y su relación a las cargas conservadas. - Sabe usar el formalismo de primer orden y entiende su interpretación geométrica y la equivalencia con el formalismo usual métrico. - Maneja la dinámica gravitacional en dimensiones diversas. - Entiende el rol de los términos de borde en gravitación. - Aplica el conocimiento adquirido a los sistemas diversos, tal como para la obtención de una teoría efectiva a través de la reducción dimensional, o a la dualidad gauge/gravedad.
<b>Contenidos</b>	I. Simetrías globales de espacio-tiempo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simetría de Poincaré</li> <li>• Algebra de Lie y representaciones</li> <li>• Leyes de conservación</li> <li>• Simetría conforme</li> </ul> II. Formalismo de primer orden en gravitación <ul style="list-style-type: none"> <li>• Principio de equivalencia y principio de gauge</li> <li>• Vielbein e conexión de spin</li> <li>• Curvatura y tensor de torsión</li> <li>• Interpretación geométrica</li> <li>• Leyes de conservación</li> <li>• Espacio Riemann-Cartan y espacio de Riemann</li> </ul>

	<p>III. Dinámica gravitacional en <math>D</math> dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formas diferenciales y cálculo exterior</li> <li>• Teoría de Einstein-Hilbert</li> <li>• Teorías de Lovelock</li> <li>• Acoplamiento entre gravitación y materia</li> </ul> <p>IV. Términos de borde en gravitación</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Término de Gibbons-Hawking</li> <li>• Regularización infrarroja de gravitación</li> <li>• Cargas conservadas</li> </ul> <p>V.* Compactificación de Kaluza-Klein</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teoría KK cinco-dimensional</li> <li>• Teoría KK en dimensiones más altas</li> </ul> <p>VI.* Introducción a la correspondencia Gauge/ Gravedad</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjetura AdS/CFT y las función es de correlación de <math>n</math> puntos</li> <li>• Identidades de Ward y anomalías</li> <li>• Ejemplos de campo Abelian y campo escalar</li> </ul> <p>* <i>Unidades optativas.</i></p>
<b>Modalidad de evaluación</b>	El sistema de evaluación se basa en tareas obligatorias y una presentación oral en el fin del curso.
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ M. Blagojević, Gravitation and gauge symmetries (IOP Publishing, Bristol and Philadelphia, 2002)</li> <li>▪ T. Padmanabhan, Gravitation - Foundations and Frontiers (Cambridge University Press, 2010)</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ D. Bailin, A. Love, Kaluza Klein Theories, Reports on Progress in Physics, Vol. 50, page 1087-1170 (1987)</li> <li>▪ H. Nastase, Introduction to AdS/CFT, [arXiv: 0712.0689 [hep-th]]</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>COSMOLOGÍA II</b> Código USM: FIS486 Código PUCV: FIS900
<b>Descripción del curso</b>	En este curso se estudia la cosmología moderna, haciendo énfasis en las evidencias observacionales que dan sustento al modelo del Big Bang y describiendo los últimos avances teóricos y observacionales. Se tratarán temas relacionados con la expansión del Universo, la medición de distancias cosmológicas, la abundancia de elementos livianos, la formación de grandes estructuras astrofísicas, la radiación cósmica del fondo de microondas y la aceleración primitiva del universo a la luz de los datos observacionales que actualmente se encuentran disponibles.
	<b>Asignatura: Especialidad – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b> PREREQUISITOS: COSMOLOGÍA I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Los objetivos principales de este curso son los siguientes: 1. Proporcionar un conocimiento básico de cosmología, con una base suficiente para iniciar investigación en esta área. 2. Desarrollar habilidades para explorar datos astronómicos y resolver problemas.
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometría del espacio tiempo</li> <li>• Corrimiento al rojo</li> <li>• La constante de Hubble</li> <li>• Distancia luminosa</li> </ul> </li> <li>2. El modelo del Big-Bang <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dinámica de la expansión</li> <li>• Época de materia</li> <li>• Época de radiación</li> <li>• Problemas del modelo</li> </ul> </li> <li>3. Modelos Inflacionarios <ul style="list-style-type: none"> <li>• Historia térmica</li> <li>• Soluciones del modelo estandar</li> <li>• Nucleosíntesis cosmológica</li> <li>• Transiciones de fase</li> <li>• Inflación antigua y nueva</li> <li>• Inflación caótica</li> <li>• Slow roll</li> </ul> </li> <li>4. Origen de las Estructuras</li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perturbaciones cosmológicas</li> <li>• Perturbaciones lineales después de la recombinación</li> <li>• Escogiendo un gauge</li> <li>• Descomposición de Fourier</li> </ul> <p>5. Fluctuaciones del Vacío para Campos Escalares</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perturbaciones escalares</li> <li>• Teoría cinética</li> <li>• Limite hidrodinámico</li> <li>• Función de transferencia</li> <li>• Perturbaciones tensoriales</li> </ul> <p>6. Construyendo y probando los modelos inflacionarios</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inflación y slow roll</li> <li>• Inflación tibia</li> <li>• Inflación ley de potencia y de Sitter</li> <li>• Inflación de multi-campos</li> </ul>
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>La evaluación se basa en tareas y presentaciones orales durante el curso. La ponderación de ellas es 50% y 50%. Su asistencia es obligatoria</p>
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ D.S Gorbunov &amp; V. A Rubakov: “Introduction to the Theory of the Early Universe: Hot Big Bang Theory”, World Scientific (2011)</li> <li>▪ D.S Gorbunov &amp; V. A Rubakov: “Introduction to the Theory of the Early Universe: Cosmological Perturbations and Inflationary Theory”, World Scientific (2011)</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• B. Ryden: “Introduction to Cosmology”, Cambridge University Press (2016).</li> <li>• G. F.R. Ellis, R. Martens &amp; M. A. H. MacCallum: “Relativistic Cosmology”, Cambridge University Press (2016).</li> <li>• A.R. Liddle: “An Introduction to Modern Cosmology”, Jhon Wiley &amp; Sons Ltd. (2003).</li> <li>• A.R. Liddle &amp; D.H. Lyth: “Cosmological Inflation and Large-Scale Structure”, Cambridge University Press (2000).</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TEORÍA DE CAMPOS CONFORMES</b> Código USM: FIS475 Código PUCV: FIS866
<b>Descripción del curso</b>	La primera parte del curso introduce las herramientas básicas de la teoría de campos conformes. La segunda parte, que puede variar de un año a otro, consiste en las aplicaciones seleccionadas en el área de altas energías, teoría de gravedad o sistemas de materia condensada. Al terminar el curso, los alumnos deberán ser capaces enfrentar cualquiera aplicación en teoría de campos conformes.
	<b>Asignatura: Especialidad – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b> PREREQUISITOS: Asignaturas OBLIGATORIAS TEÓRICA Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Este es un curso de especialización que profundiza los conocimientos de los estudiantes en teoría de campos conformes, tal como: cuantización de teoría de campos libres (bosones y fermiones) con la invarianza conforme; estudio de simetría conforme y su algebra (Virasoro y Kac-Moody); introducción de interacción; el rol de topología a través de compactificación de un boson en el toro.  Este tópico tiene amplias aplicaciones en la física de energías altas, materia condensada y teoría de gravedad. Las actividades del curso incluyen clases expositivas, tareas y exposiciones de los estudiantes en el final de la asignatura.
<b>Contenidos</b>	UNIDAD I. Invariancia conforme 1.1 Grupo conforme y sus representaciones 1.2 Tensor de energía momento 1.3 Identidades de Ward 1.4 Campos primarios 1.5 Correladores 1.6 Campos libres (bosones, fermiones) 1.7 Algebra de Virasoro y cargas centrales 1.8 Cuantización radial y formalismo de operadores UNIDAD II. Invariancia modular 2.1 Teoría de campos en el toro 2.2 Invariancia modular 2.3 Boson libre en el toro 2.4 Boson compactificado en el toro UNIDAD III. Modelo de Wess-Zumino-Witten

	<p>3.1 Acción de Wess-Zumino-Witten 3.2 Simetría de Kac-Moody 3.3 Construcción Sugawara UNIDAD IV. Teoría de Liouville 4.1 Teoría clásica 4.2 Teoría cuántica con la anomalía conforme 4.3 Funcional Wess-Zumino-Witten UNIDAD V.* Introducción a la Correspondencia Gauge/ Gravedad 5.1 Conjetura AdS/CFT y las funciones de correlación de n puntos 5.2 Introducción a la renormalización holográfica 5.3 Anomalías conformes holográficas 5.4 Dualidad entre agujeros negros y teorías de campos en la temperatura finita 5.5 Aplicaciones en la Hidrodinámica y Superconductores UNIDAD VI.* Otras aplicaciones 6.1 Modelo de Ising 2-dimensional 6.2 Simetría conforme y teoría de cuerdas 6.3 Simetría conforme y modelos integrables 6.4 Simetría superconforme 6.5 Simetría conforme y transiciones de fase 6.6 Grupo de renormalización</p>
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>Los alumnos tendrán tareas regulares y una tarea final de fin de semana. El curso termina con el “Encuentro conforme”, donde todo alumno presentara una aplicación de CFT a un sistema físico diferente * Se elegirá solo algunos tópicos para ser presentados en las clases.</p>
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ P. Francesco, P. Mathieu, D. Senechal, “Conformal Field Theory” (1997, Springer)</li> <li>▪ R. Blumenhagen, E. Plauschinn, "Introduction to Conformal Field Theory: With applications to String Theory" (2009, Springer)</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• J. D. Qualls, "Lectures on Conformal Field Theory" (2015) e-Print: arXiv:1511.04074 [hep-th]</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES EN ASTROFÍSICA, COSMOLOGÍA Y GRAVITACIÓN I y II</b> Código USM: FIS 487/FIS488 Código PUCV: FIS901/FIS902
<b>Descripción del curso</b>	La asignatura de “Tópicos especiales” corresponde a un conjunto de temas específicos y avanzados vinculados a la Tesis desarrollada por el alumno que cursa la asignatura. En general los tópicos cubiertos no han sido parte de las asignaturas de especialidad o requieren de una mayor nivel de profundidad para ser empleados de manera efectiva en el desarrollo de la Tesis de grado. Está asignatura es usualmente impartida en modalidad tutorial. Los tópicos específicos son en este caso del área de <b>Astrofísica, cosmología y gravitación</b> . Ellos son definidos para cada asignatura por el profesor de la misma y propuestos al Comité de Programa para su aprobación.
	<b>Asignatura de Tópicos especiales – Astrofísica, cosmología y gravitación</b> Prerequisitos: Relatividad I, Cosmología I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Entregar al estudiante una formación avanzada en temas específicos de su área ( <b>Astrofísica, cosmología y gravitación</b> ) que tengan relación directa con el trabajo de investigación que realiza en el marco de su Tesis de grado.
<b>Contenidos</b>	A definir
<b>Modalidad de evaluación</b>	A definir por el profesor al inicio del curso
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> Publicaciones científicas del área, tanto artículos originales como de revisión.
<b>Bibliografía</b>	<b>Recomendada:</b>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TOPICOS ESPECIALES EN ASTROFÍSICA, COSMOLOGÍA Y GRAVITACIÓN I ó II</b> <b>BLACK HOLE PHYSICS</b> Código USM: FIS487/FIS488 Código PUCV: FIS901/FIS902
<b>Descripción del curso</b>	In this course the graduate student will assimilate the basic knowledge on physics of black hole solutions in General Relativity and be able to apply it to different models. Through this course, the student will also be exposed to important ideas of timely research on the subject.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b> PREREQUISITOS: Relatividad General I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	The student will receive modern overview of most important features of black holes. The course will start with the Schwarzschild black hole and its properties, stability and quasi-normal modes. Then the student will learn about electrically charged black hole and the rotating one, and about general aspects of black hole thermodynamics and its phase transitions. He will also understand methods of gravitational collapse that produce black holes, and a number of applications that cover non-standard black holes, their conserved charges and holographic duality.
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Review of basic tools of General Relativity <ul style="list-style-type: none"> <li>• General covariance</li> <li>• Uniformly accelerated reference frame</li> <li>• Curvature tensor, parallel transport of a vector</li> <li>• Symmetries and Killing vectors</li> </ul> </li> <li>2. The Schwarzschild black hole <ul style="list-style-type: none"> <li>• Birkhoff's theorem</li> <li>• Eddington-Finkelstein coordinates</li> <li>• Kruskal coordinates</li> <li>• Causal structure and Penrose diagrams</li> <li>• Vaidya metric, horizons (event, apparent, killing)</li> <li>• Axial and polar perturbations</li> <li>• Stability</li> <li>• Quasi-normal modes</li> </ul> </li> <li>3. Charged black hole <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reissner-Nordström solution</li> </ul> </li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cauchy horizon</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Rotating black hole <ul style="list-style-type: none"> <li>• Newman-Janis algorithm, Kerr solution</li> <li>• Ergosphere and the Penrose process</li> <li>• Uniqueness theorems</li> </ul> </li> <li>5. Gravitational collapse <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tolman-Bondi-Lemaître spacetime</li> <li>• Cosmic censorship conjecture, Hoop conjecture</li> <li>• Critical phenomena</li> </ul> </li> <li>6. Black hole thermodynamics <ul style="list-style-type: none"> <li>• Surface gravity</li> <li>• The laws of black hole mechanics</li> <li>• Variational principle and Gibbons-Hawking boundary term</li> <li>• Euclidean section</li> <li>• Free energy and conserved charges</li> <li>• Phase transitions</li> </ul> </li> <li>7. Astrophysical black holes <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evidence for black holes</li> <li>• Classes of astrophysical black holes</li> <li>• Stellar evolution, Chandrasekhar limit</li> <li>• Disk accretion</li> <li>• Primordial black holes</li> </ul> </li> <li>8. Beyond standard black holes <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scalar fields with arbitrary potentials, no-go theorems</li> <li>• Hairy black holes</li> <li>• Higher-dimensional black holes</li> <li>• Gregory-Laflamme instability</li> <li>• Wormholes</li> </ul> </li> <li>9. Selected advanced topics <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosmological horizons</li> <li>• AdS/CFT duality</li> <li>• Kerr/CFT correspondence</li> <li>• Black hole microscopics and attractor mechanism</li> <li>▪ Wald formalism</li> </ul> </li> </ol>
<b>Modalidad de evaluación</b>	The student will have homework assignments and a final presentation
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ V. P. Frolov and A. Zelnikov, "Introduction to black hole physics" (Oxford University press, 2011)</li> <li>▪ L. Landau and E. Lifshitz, "The classical theory of fields" (Elsevier, 4rd edition, first published 1987)</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p>

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ A. Fabbri and J. Navarro-Salas, “Modeling black hole evaporation”</li><li>▪ P. Joshi, “Gravitational collapse and spacetime singularities”</li><li>▪ S. Chandrasekhar, “The mathematical theory of black holes”</li><li>▪ E. Poisson, “A relativist's toolkit: the mathematics of black hole mechanics”</li><li>▪ <a href="http://jila.colorado.edu/~ajsh/insidebh/intro.html">http://jila.colorado.edu/~ajsh/insidebh/intro.html</a></li></ul>
--	---

<b>Nombre del curso</b>	<b>TOPICOS ESPECIALES EN ASTROFÍSICA, COSMOLOGÍA Y GRAVITACIÓN I ó II</b> <b>EVOLUCIÓN PRESENTE DEL UNIVERSO</b> Código USM: FIS487/FIS488 Código PUCV: FIS901/FIS902
<b>Descripción del curso</b>	Este es un curso de Tópicos Especiales en el cual se profundiza los conocimientos de los estudiantes en ámbito del Universo actual. En particular se ahonda en la teoría de perturbaciones y modelos de energía oscura. Las actividades del curso incluyen cátedras con clases expositivas y disertaciones.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b> PREREQUISITOS: Relatividad General I o Cosmología I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Este curso se estudia la aceleración presente del universo a la luz de los datos observacionales que actualmente se encuentran disponibles. En esta primera parte se introducen herramientas tanto en el aspecto teórico como observacional, necesarias para hacer un estudio acabado de esta aceleración.
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Historia Expansiva del Universo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Universo de Friedmann</li> <li>• Ley de Hubble</li> <li>• Especies de materia en el universo</li> <li>• Distancias cósmicas</li> <li>• Ecuación de estado para la energía oscura</li> </ul> </li> <li>2. Función Correlación y Espectro de potencias <ul style="list-style-type: none"> <li>• La function correlación</li> <li>• La función correlación para n-puntos</li> <li>• El espectro de potencia</li> </ul> </li> <li>3. Teoría de perturbaciones: Esquema Básico <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perturbaciones de la Relatividad General</li> <li>• El gauge de Newton</li> <li>• Modelo de un fluido</li> <li>• Perturbaciones con escalas mayores que el horizonte</li> <li>• Escalas menores que el horizonte</li> <li>• Soluciones con dos flúidos</li> <li>• Campo de velocidades</li> <li>• Espectro de potencia de materia</li> </ul> </li> </ol>

	<p>4. Evidencias Observacionales de la energía Oscura</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Edad del universo</li> <li>• Observaciones de Supernovas</li> <li>• Radiación cósmica de fondo</li> <li>• Oscilaciones acústicas de bariones</li> <li>• Estructura a gran escala</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	<p>La evaluación se basa en tareas y presentaciones orales durante el curso. La ponderación de ellas es 50% y 50%. Su asistencia es obligatoria.</p>
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lucas Amendola and Shinji Tsujikawa, Dark Energy: Theory and Observation (Cambridge University Press Publishing, 2010)</li> <li>▪ Andrew Liddle, An Introduction to Modern cosmology, Second Edition (John Wiley &amp; Sons Ltd. , 2003)</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A.R. Liddle &amp; D.H. Lyth: .“Cosmological Inflation and Large-Scale Structure.”.Cambridge University Press (2000).</li> <li>▪ J.A. Peacock: .“Cosmological Physics.”. Cambridge University Press (1999).</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TOPICOS ESPECIALES EN ASTROFÍSICA, COSMOLOGÍA Y GRAVITACIÓN I ó II</b> <b>FLUCTUACIONES EN EL UNIVERSO INFLACIONARIO</b> Código USM: FIS487/FIS488 Código PUCV: FIS901/FIS902
<b>Descripción del curso</b>	Este es un curso de Tópicos especiales del Programa de Doctorado, el cual entrega los conocimientos básicos a los estudiantes en ámbito del Universo temprano. Las actividades del curso incluyen cátedras con clases expositivas y disertaciones.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b> PREREQUISITOS: Relatividad General I o Cosmología I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	El objetivo de esta primera parte del curso es presentar las bases para entender la formación de estructuras en el universo a gran escala y las fluctuaciones en la radiación cósmica de fondo del universo primitivo. Esto se hace bajo el esquema de un universo de Friedmann-Lamaître-Robertson-Walker.
<b>Contenidos</b>	1. Transiciones de Fase e Inflación <ul style="list-style-type: none"> <li>• El Modelo BB</li> <li>• Interacciones fundamentales</li> <li>• Física de las transiciones de fase</li> <li>• Problema del modelo estándar</li> <li>• Problema del mono polo</li> <li>• Problema del horizonte</li> <li>• El problema</li> <li>• Solución inflacionaria</li> <li>• Problema de planicie</li> <li>• El problema</li> <li>• Solución inflacionaria</li> <li>• El universo inflacionario</li> <li>• Tipos de inflación</li> <li>• Antigua</li> <li>• Nueva</li> <li>• Caótica</li> <li>• Abierta</li> <li>• Extendida</li> <li>• Otros modelos</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sucesos y problemas con inflación</li> </ul> <p>2. Introducción a la Teoría de Jeans</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inestabilidad gravitacional</li> <li>• Teoría de Jean para fluidos que colisionan</li> <li>• Teoría de Inestabilidad para un par de fluidos que no colisionan</li> <li>• Historia de la teoría de Jeans en Cosmología</li> <li>• El efecto de la expansión: Un análisis aproximado</li> <li>• Teoría de Newton para un universo dominado por polvo</li> <li>• Soluciones para el universo plano dominado por polvo</li> <li>• Soluciones para un universo dominado por radiación</li> <li>• Soluciones relativistas</li> </ul> <p>3. Perturbaciones Cosmológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción</li> <li>• El espectro de perturbaciones</li> <li>• La variancia de masa             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Escalas masivas y filtros</li> <li>o Propiedades de los campos de filtros</li> <li>o Problemas con filtros</li> </ul> </li> <li>• Tipos de espectros primordiales</li> <li>• Espectros al cruce del horizonte</li> <li>• Fluctuaciones durante inflación</li> <li>• Perturbaciones de densidad Gaussianas</li> <li>• Funciones covariantes</li> </ul> <p>4. Inhomogeneidades en modelos de Friedmann-Lamaître-Robertson-Walker</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Descomposiciones de Inhomogeneidades en modelos FLRW</li> <li>• Tópicos de gauge en los modos escalares</li> <li>• Amplificaciones súper-adiabáticas</li> <li>• Descripción mecano-cuántica de los modos tensoriales             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectro de gravitones primordiales</li> <li>• Diferentes vacíos</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>La evaluación se basa en tareas y presentaciones orales durante el curso. La ponderación de ellas es 50% y 50%. La asistencia es obligatoria.</p>
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Peter Cole and Francesco Lucchin, Cosmology: The origen and Evolution of Cosmic Structure, second edition, John Wiley &amp; Sons, Ltd (2002)</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Massimo Giovannini, A Prime of the Physics of the Cosmic Microwave Background, World Scientific Publishing Co. (2008)</li><li>▪ Viatcheslav Mukhanov, Physical Foundations of Cosmology, Cambridge University Press (2005)</li></ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ B.A. Bassett, S. Tsujikawa &amp; D. Wands: "Inflation Dynamics &amp; Reheating.", Rev. Mod. Phys. <b>78</b>, 537 (2006)</li></ul>
--	---

<b>Nombre del curso</b>	<b>TOPICOS ESPECIALES EN ASTROFÍSICA, COSMOLOGÍA Y GRAVITACIÓN I ó II</b> <b>COSMOLOGY, DARK ENERGY AND MODIFIED GRAVITY</b> Código USM: FIS487/FIS488 Código PUCV: FIS901/FIS902
<b>Descripción del curso</b>	This specialized course of cosmology covers advanced topics on the subject and the current problems of the Standard Model. It also provides various alternative models of the universe in an attempt to solve these problems.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b> PREREQUISITOS: Relatividad General I o Cosmología I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	The student will study the late accelerated expansion of the universe. He will be able to develop the arguments for and against the Standard Model. Through the course, the student will assimilate the recent progress made towards understanding the nature of dark energy.
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preliminaries <ul style="list-style-type: none"> <li>• The cosmological principle</li> <li>• Olbers' Paradox</li> <li>• The Hubble-Lemaître expansion</li> </ul> </li> <li>2. The standard model <ul style="list-style-type: none"> <li>• Friedmann equations</li> <li>• Cosmic inventory</li> <li>• Cosmic distances</li> </ul> </li> <li>3. Cosmological constant <ul style="list-style-type: none"> <li>• History of the cosmological constant</li> <li>• The classical cosmological constant problem</li> <li>• The quantum-mechanical cosmological constant problem</li> </ul> </li> <li>4. Observational evidence of the accelerated expansion of the universe <ul style="list-style-type: none"> <li>• The age of the Universe</li> <li>• Supernova observations</li> <li>• Cosmic Microwave Background</li> <li>• Baryon acoustic oscillations</li> <li>• Large-scale structure</li> </ul> </li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Measuring the cosmological constant in the lab</li> <li>• Weinberg's no-go theorem</li> </ul> <p>5. Extensions of General Relativity</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quintessence</li> <li>• K-essence</li> <li>• <math>f(R)</math> gravity</li> <li>• Scalar-tensor theories</li> <li>• Lanczos-Lovelock models of gravity</li> <li>• Braneworld models</li> <li>• Chern-Simons gravity</li> <li>• Lorentz-violating theories</li> <li>• Massive gravity</li> <li>• Bimetric</li> <li>• Galileons</li> <li>• Effective field theory as a unifying language</li> </ul> <p>6. Effective field theory diagnostics</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ostrogradsky's theorem</li> <li>• Ghosts</li> <li>• Gradient instabilities</li> <li>• Tachyonic instabilities</li> <li>• Analyticity, locality and superluminality</li> </ul> <p>7. Experimental tests</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratory and solar system tests</li> <li>• Astrophysical tests in the nearby universe</li> <li>• Cosmological tests</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	The students will have homework assignments and a final presentation.
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L. Amendola and S. Tsujikawa, "Dark Energy Theory and Observations"</li> <li>▪ Review on the cosmological constant problem: <a href="http://arxiv.org/abs/1205.3365">http://arxiv.org/abs/1205.3365</a>)</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Review on modified gravity models: <a href="http://arxiv.org/abs/1106.2476">http://arxiv.org/abs/1106.2476</a></li> <li>▪ Review on dark energy models: <a href="http://arxiv.org/abs/hep-th/0603057">http://arxiv.org/abs/hep-th/0603057</a></li> </ul>

<p><b>Nombre del curso</b></p>	<p><b>TOPICOS ESPECIALES EN ASTROFÍSICA, COSMOLOGÍA Y GRAVITACIÓN I ó II</b> <b>TEORIA DE CAMPOS EN ESPACIOS CURVOS</b> Código USM: FIS487/FIS488 Código PUCV: FIS901/FIS902</p>
<p><b>Descripción del curso</b></p>	<p>Este curso optativo está orientado a los estudiantes interesados en el campo de Gravitación y Cosmología. Durante este curso se estudiará cómo formular una teoría de campo en un espacio-tiempo curvo dado por la relatividad general. Esto llevará a estudiar fenómenos como la radiación de Hawking o la creación de fluctuaciones casi invariantes de escala en un universo en expansión. El estudio de estos tópicos es fundamental para entender los desarrollos recientes en gravitación y cosmología. También se comentará cómo describir la gravitación como una teoría cuántica de campo.</p>
<p><b>Asignatura de Tópicos Especiales – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b></p>	<p><b>Asignatura de Tópicos Especiales – Astrofísica, Cosmología y Gravitación</b> PREREQUISITOS: Relatividad General I Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -</p>
<p><b>Objetivos</b></p>	<p>Al final del curso el estudiante será capaz de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuantizar un campo en un espacio-tiempo curvo.</li> <li>- Calcular funciones de correlación a dos puntos generadas durante la inflación.</li> <li>- Describir la radiación de Hawking, el efecto Casimir y el efecto Unruh.</li> <li>- Entender la gravedad como una teoría de campo</li> </ul>
<p><b>Contenidos</b></p>	<p>UNIDAD I. Repaso e introducción</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejemplo sencillo: El oscilador armónico dependiente del tiempo.</li> <li>• Repaso de cuantización canónica en espacio-tiempo plano.</li> <li>• Repaso de teorías de gauge.</li> <li>• La gravitación como una “teoría de gauge”.</li> <li>• Repaso de la ecuación de Dirac y su cuantización.</li> <li>• Espinores en espacio-tiempos curvos.</li> </ul>

	<p>UNIDAD II. Campos cuánticos en el universo en expansión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Campos en la métrica de FLRW</li> <li>• Cuantización de un campo escalar</li> <li>• Transformaciones de Bogolyubov y densidad de partículas.</li> <li>• Escogencia del vacío</li> <li>• Campos en la métrica de de Sitter.</li> <li>• Función de correlación a dos puntos en de Sitter.</li> <li>• Cuantización de las fluctuaciones de la métrica y funciones de correlación de orden más alto.</li> </ul> <p>UNIDAD III. Efecto Unruh, Radiación de Hawking, efecto Casimir</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La métrica de Rindler</li> <li>• Cuantización del campo en la métrica de Rindler.</li> <li>• Transformaciones de Bogolyubov y densidad de partículas.</li> <li>• Campo escalar en la métrica de Schwarzschild</li> <li>• Cuantización del campo escalar en la métrica de Schwarzschild.</li> <li>• Breve discusión de la termodinámica de agujeros negros.</li> <li>• El efecto Casimir.</li> </ul> <p>UNIDAD IV. Tópicos avanzados (Se dictarán dependiendo del tiempo disponible y el interés de los estudiantes, se elegirán algunos temas de entre los siguientes)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repaso de integrales de trayectoria en mecánica cuántica y para un campo escalar.</li> <li>• Repaso de integral de trayectoria para la QED.</li> <li>• Fantasmas de Fadeev-Popov.</li> <li>• El método de campo de fondo para la gravedad.</li> <li>• El “heat kernel”.</li> <li>• La expansión de Seeley-DeWitt.</li> <li>• Renormalización de la acción efectiva.</li> <li>• Anomalía conforme.</li> </ul>
--	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura infrarroja: El teorema soft de Weinberg.</li> <li>• Cancelación de divergencias infrarrojas.</li> <li>• La gravedad como la única teoría para un campo con spin 2 sin masa.</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Habrá una tarea cada clase para ser entregada a la clase siguiente y una presentación al final del curso. Las tareas valen un 60% y la exposición un 40% de la nota final.
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ V. Mukhanov, S. Winitzki, “Introduction to Quantum Effects in Gravity”, Cambridge University Press</li> </ul>
	<b>Recomendada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ N.D. Burrell, P.C.W. Davies, “Quantum Fields in Curved Space”, Cambridge University Press, 1982.</li> <li>▪ J. D. Donghue, M. M. Ivanov, A. Shkerin, “EPFL Lectures on General Relativity as a Quantum Field Theory”, 2017, arXiv:1702.00319</li> </ul>

## 5.- Asignaturas de Especialidad: Sistemas Complejos

<b>Nombre del curso</b>	<b>FÍSICA DE SISTEMAS COMPLEJOS</b> Código USM: FIS425 Código PUCV: FIS903
<b>Descripción del curso</b>	Se aborda la descripción y análisis de sistemas dinámicos clásicos, que incluyen elementos como: estabildades, atractores, y bifurcaciones. De esta forma se establecen las bases para describir el comportamiento caótico de sistemas dinámicos.
	<b>Asignatura: Especialidad – Sistemas Complejos</b> Prerequisitos: Mecánica Clásica, Mecánica Estadística Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Este curso tiene como objeto introducir al alumno al lenguaje básico que compone la física de los sistemas complejos. Un primer objetivo del curso es desarrollar los conceptos importantes en el análisis de sistemas dinámicos: estabildades, atractores, y bifurcaciones. Para finalmente describir el comportamiento caótico bajo diferentes enfoques. El segundo objetivo es describir a la luz de estas herramientas diferentes tipos de sistemas físicos
<b>Contenidos</b>	UNIDAD 1. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teoría general de estabilidad y bifurcaciones: conceptos básicos</li> <li>• Introducción a los sistemas dinámicos</li> <li>• Teoría de la estabilidad global y estabilidad lineal</li> <li>• Dinámica cualitativa</li> <li>• Sistemas de baja dimensión</li> </ul> UNIDAD 2. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanismos físicos de inestabilidad</li> <li>• Convección: inestabilidad de Rayleigh-Béarnard, aproximación de Boussinesq y condiciones de contorno para la convección</li> <li>• Convección en fluidos binarios</li> <li>• Inestabilidades dinámicas en cristales líquidos nemáticos, e inestabilidades en láseres</li> </ul> UNIDAD 3. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comportamiento caótico: transición hacia el comportamiento irregular, la aplicación logística, intermitencia temporal</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización del caos: sensibilidad a las condiciones iniciales, exponentes de Liapunov, y medida invariante sobre un atractor</li> <li>• Entropía topológica, de información y de Kolmogorov; y su relación con los exponentes de Liapunov</li> <li>• Dimensiones de un atractor caótico: geometría fractal</li> <li>• Determinación del caos a partir de datos experimentales</li> </ul> <p>UNIDAD 4.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formación de estructuras espacio-temporales</li> <li>• Turbulencia débil y desarrollada</li> <li>• Inestabilidades en sistemas cerrados</li> <li>• Aplicaciones de la ecuación de Ginzburg-Landau</li> <li>• Dinámica de Texturas</li> <li>• Turbulencia hidrodinámica en sistemas abiertos</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	La evaluación será a través de pruebas parciales y tareas
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Strogatz, S., Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry and engineering, Perseus Books Group (2001).</li> <li>▪ Manneville, P., Instabilities, Chaos and Turbulence, 2nd ed., Imperial College Press, 456 (2010).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mandelbrot, B.B., The Fractal Geometry of Nature, W. H. Freeman, New York (1982).</li> <li>▪ McComb, W.D., The Physics of Fluid Turbulence, Oxford University Press, New York (1991).</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>FLUIDOS, CAPILARIDAD Y FENÓMENOS DE MOJADO</b> Código USM: FIS 462 Código PUCV: FIS 886
<b>Descripción del curso</b>	En este curso se describen los fenómenos básicos de mecánica de fluidos, capilaridad y fenómenos de mojado. Cada uno de los temas propuestos se apoya en variadas aplicaciones, experiencias y situaciones industriales concretas.
	<b>Asignatura: Especialidad – Sistemas Complejos</b> Prerequisitos: Mecánica Clásica, Mecánica Estadística, Física de los Sistemas Complejos Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Introducir al estudiante en conceptos básicos de mecánica fluidos ideales y capilaridad y fenómenos de mojado. El alumno deberá ser capaz de comprender los diferentes modelos propuestos, como también analizar trabajos actuales que se realizan sobre el tema. Cada uno de los temas propuestos se apoya en variadas aplicaciones, experiencias y situaciones industriales concretas.
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluidos ideales</li> <li>• Viscosidad</li> <li>• Fluidos newtonianos</li> <li>• Ondas</li> </ul> </li> <li>2. Capilaridad <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaces móviles</li> <li>• Tensión superficial</li> <li>• Presión de Laplace</li> <li>• Mojado y contacto entre fases</li> </ul> </li> <li>3. Capilaridad y gravedad <ul style="list-style-type: none"> <li>• Largo capilar</li> <li>• Meniscos</li> <li>• Ley de Jurin</li> <li>• Técnicas de medición de tensión superficial</li> </ul> </li> <li>4. Hidrodinámica de interfaces: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dinámica de films delgados</li> <li>• Mojado forzado</li> <li>• Ondas</li> </ul> </li> <li>5. Surfactantes <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balance hidrófilo-lipofílico</li> </ul> </li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunas Aplicaciones</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	La evaluación será a través de ejercicios y presentaciones orales sobre tópicos propuestos por el profesor.
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ D. J. Acheson, Elementary Fluid Dynamics (Oxford Applied Mathematics &amp; Computing Science Series), Oxford University Press, 1990.</li> <li>▪ Pierre-Gilles de Gennes, Françoise Brochard-Wyart &amp; David Quéré, Gouttes, bulles, perles et ondes, Belin (Collection Échelles) 2005.</li> </ul>
	<b>Recomendada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hans-Jürgen Butt, Karlheinz Graf, Michael Kappl, Physics and Chemistry of Interfaces, Wiley-VCH 2006.</li> <li>▪ Hans-Jürgen &amp; Michael Kappl, Surface and Interfacial Forces, Wiley-VCH 2010</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>PROCESOS ESTOCÁSTICOS EN SISTEMAS COMPLEJOS</b> Código USM: FIS463 Código PUCV: FIS962
<b>Descripción del curso</b>	En este curso se establecen las bases para la descripción de de la dinámica de sistemas regidos por procesos estocásticos. Es decir, aquellos sistemas que no son completamente deterministas. Típicamente la aleatoriedad se debe a fenómenos a microescala, como el efecto de colisión de moléculas de fluido en una pequeña partícula de polvo en el aire. El movimiento resultante sólo puede describirse en un sentido estadístico. Es así, que en sistemas como éstos, la dinámica completa es funcional a una o más variables aleatorias independientes. El movimiento es entonces descrito por su promedios respecto a las distintas distribuciones aleatorias.
	<b>Asignatura: Especialidad – Sistemas Complejos</b> Prerequisitos: Asignaturas obligatorias Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Introducir al alumno a las herramientas fundamentales para describir fenómenos físicos complejos desde la teoría de procesos estocásticos.
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Teoría de probabilidades <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definiciones básicas.</li> <li>• Densidad de probabilidad.</li> <li>• Ley de grandes números y teorema ergódico.</li> <li>• El speckle óptico como ejemplo de trabajo.</li> </ul> </li> <li>2. Variables aleatorias y procesos estocásticos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Independencia estadística.</li> <li>• Convergencia en probabilidad y Lp.</li> <li>• Función característica.</li> </ul> </li> <li>3. Aplicaciones a la física estadística <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluctuaciones termodinámicas.</li> <li>• Teorema de Wiener-Kirchin.</li> </ul> </li> <li>4. Procesos auto-similares <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición y propiedades.</li> <li>• Procesos Browniano y Browniano fraccionario.</li> <li>• Procesos Lévy estables.</li> </ul> </li> <li>5. Aplicaciones a la física estadística <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluctuaciones termodinámicas.</li> <li>• Teorema de Wiener-Kirchin.</li> </ul> </li> </ol>

	<p>6. Procesos auto-similares</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición y propiedades.</li> <li>• Procesos Browniano y Browniano fraccionario.</li> <li>• Procesos Lévy estables.</li> <li>• Transformada de Lamperti.</li> </ul> <p>7. Ecuaciones diferenciales estocásticas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuidad y diferenciabilidad.</li> <li>• Ruido y color. Memoria y correlación.</li> <li>• Ecuaciones diferenciales estocásticas: ecuación de Itô.</li> <li>• Movimiento Browniano y difusión: ecuaciones de Langevin y Fokker-Planck.</li> </ul>
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>Se evaluarán tareas entregados, y como evaluación final la exposición de un trabajo personal basada en el análisis de artículos científicos.</p>
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Papoulis, A., and Pilla, S.U., Probability, Random Variables and Stochastic Processes , 4th ed., McGraw Hill Higher Education (2002).</li> <li>▪ Paul Embrecht and Makoto Maejima. Selfsimilar Processes. Princeton Series in Applied Mathematics. Princeton University Press, 2002.</li> <li>▪ Manuel O. Cáceres. Elementos de estadística de no-equilibrio y sus aplicaciones al transporte en medios desordenados. Editorial Reverté, 2003.</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ N. Shiryaev, Probability, 2nd ed., Graduate Texts in Mathematics (Springer, 1995), Vol. 95.</li> <li>▪ Goodman, J.W., Speckle Phenomena in Optics Theory and Applications, Roberts and Company Publishers, 387 (2010).</li> <li>▪ G. Samorodnitsky and M. S. Taqqu, Stable Non-Gaussian Random Processes: Stochastic Models with Infinite Variance, Stochastic Modeling (Chapman &amp; Hall/CRC, 1994).</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>ÓPTICA ESTADÍSTICA</b> Código USM: FIS466 Código PUCV: FIS887
<b>Descripción del curso</b>	Este curso introduce al estudiante modelos teóricos a problemas de aplicación práctica resultando indispensable para crear un puente con las observaciones experimentales. Primero se describen fuentes de luz arbitrarias a través del modelo de Gaussian-Schell—con el que se puede describir la propagación de coherencia de modo generalizado. Por otro lado, extiende los conceptos de grado de coherencia a campos vectoriales desarrollando una teoría unificada de coherencia y polarización. Finalmente, se describen formalmente el funcionamiento de diferentes instrumentos de fotodetección de manera semi-clásica.
	<b>Asignatura: Especialidad – Sistemas Complejos</b> Prerequisitos: Electrodinámica, Procesos estocásticos de sistemas complejos Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Capacitar al estudiante en temas avanzados de óptica de modo que sea capaz de emprender investigaciones en temas relacionados
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Radiación de fuentes en cualquier estado de coherencia:2 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Representación de fuentes a través del modelo de Gaussian-Schell. Haces ópticos. Fundamentos de radiometría.</li> <li>• Representación en modos coherentes.</li> <li>• Efectos de la coherencia espacial en el espectro temporal.</li> </ul> </li> <li>2. Efectos de la presencia de un medio homogéneo aleatorio:1,2 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectos de las pantallas delgadas, simplificaciones, OTF y PSF promedio; pantallas absorbentes y de fase, pantallas Gaussianas.</li> <li>• Efectos de la turbulencia en la formación de imágenes: imagen de exposición larga por un medio turbulento, OTF para la exposición larga, imagen de exposición corta por un medio turbulento; interferometría estelar speckle.</li> </ul> </li> <li>3. Teoría vectorial de la coherencia:1</li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luz completamente polarizada y no polarizada.</li> <li>• Grado de polarización vs. grado de coherencia. Manipulación del estado de polarización.</li> <li>• Propagación de la coherencia y la polarización.</li> </ul> <p>4. Detección Fotoeléctrica de la Luz:1,2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos semiclásicos para la fotodetección eléctrica, efectos de las fluctuaciones estocásticas en la intensidad clásica, estadística del conteo de fotones para la radiación láser, conteo de fotones térmicos.</li> <li>• Limitaciones por el ruido en un interferómetro de amplitud a bajas intensidades lumínicas. Limitaciones por el ruido en la interferometría speckle.</li> <li>• Interferómetro estelar. Experimento de Hanbury-Brown-Twiss.</li> </ul>
<p><b>Modalidad de evaluación</b></p>	<p>Se evaluarán los ejercicios entregados, y como evaluación final la exposición de una asignación personal basada en artículos científicos.</p>
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Joseph W. Goodman. Statistical Optics. John Wiley &amp; sons, New York, 1985.</li> <li>▪ L. Mandel and E. Wolf, Optical Coherence and Quantum Optics (Cambridge University Press, 1995).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Michael C. Roggemann and Byron Welsh. Imaging Through Turbulence. CRC, January 1996</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>REOLOGÍA DE MATERIALES COMPLEJOS</b> Código USM: FIS468 Código PUCV: FIS963
<b>Descripción del curso</b>	Esta asignatura introduce el vasto e importante tema de la reo-física, que es la ciencia de la deformación y el flujo de los materiales. Los tópicos considerados en esta rama de la ciencia cubren prácticamente toda la materia condensada. Todo material está sometido a alguna fuerza, ya sea sólo por gravedad, y por lo tanto tiende a deformarse cuando no queremos y se mantiene estable cuando queremos otorgarle alguna forma especial. Este curso comienza con una descripción general de distintos materiales en su diversidad extrema. Luego considera la mecánica de medios continuos y la hidrodinámica de líquidos simples para comprender su comportamiento. Se describen las diversas manifestaciones ante estímulo externo – régimen elástico, elastodinámico, plástico, viscoelástico, hidrodinámico, que puede ocurrir al someter la materia a esfuerzos de deformación.
	<b>Asignatura: Especialidad – Sistemas Complejos</b> Prerequisitos: Electrodinámica Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducir al alumno a la reología de materiales complejos mediante la descripción de la mecánica de estos materiales. Se espera que el estudiante sea capaz de:</li> <li>- Comprender las herramientas teóricas y experimentales que permiten la descripción de materiales complejos.</li> <li>- Discutir las limitaciones y ventajas de los distintos métodos de caracterización.</li> <li>- Obtener conocimientos actualizados sobre el estado del arte en los diferentes tópicos del curso.</li> </ul>
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Observaciones generales sobre la mecánica de materiales complejos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólidos Elásticos y Fluidos Viscosos Newtonianos.</li> <li>• Sólidos plásticos y Fluidos No-Newtonianos.</li> <li>• Sólidos y Fluidos Viscoelásticos.</li> </ul> </li> <li>2. Elementos de mecánica de medios continuos, hidrodinámica de fluidos simples y elasticidad de sólidos. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensor de Stress</li> <li>• Ley de conservación de la masa y el torque</li> </ul> </li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecuación de balance del Torque y simetría del tensor de stress</li> </ul> <p>3. Reología de materiales isótropos viscoelásticos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspectos macroscópicos</li> <li>• Origen microscópico de la viscoelasticidad</li> </ul> <p>4. Reología de pastas densas y materiales granulares</p>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Será en base a la evaluación de tareas y presentaciones orales sobre tópicos propuestos por el profesor.
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rheophysics: The Deformation and Flow of Matter, P. Oswald, Belin, 2005.</li> <li>▪ Rhéophysique des fluides complexes: Ecoulement et Blocage. A. Fall, Editions Univeritaires Europeennes, 2011.</li> </ul>
	<p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L.D. Landau, E.M. Lifshitz (1986). Theory of Elasticity. Vol. 7 (3rd ed.). Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-7506-2633-0.</li> <li>▪ S. Timoshenko (1969), Theory of Elasticity. ISBN 978-0070647206</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>FISICA DE SISTEMAS FUERA DEL EQUILIBRIO</b> Código USM: FIS333 Código PUCV: FIS909
<b>Descripción del curso</b>	En esta asignaturas se estudian las relaciones entre flujos y fuerzas presentes en sistemas que no están en equilibrio.
	<b>Asignatura: Especialidad – Sistemas Complejos</b> Prerequisitos: Mecánica Estadística, Introducción a la física de los sistemas complejos Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	El estudiante manejará las herramientas matemáticas necesarias para tratar las relaciones entre flujos y fuerzas presentes en sistemas que no están en equilibrio, y aplicará este conocimiento a los istemas diversos (físicos, químicos y biológicos).
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ecuaciones de balance para sistemas fuera del equilibrio.</li> <li>2. Producción de entropía. Relaciones entre flujos y fuerzas.</li> <li>3. Transporte de materia en sistemas químicos y biológicos.</li> <li>4. Las reacciones químicas como procesos fuera del equilibrio.</li> <li>5. Estructuras disipativas y procesos biológicos.</li> </ol>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Exposiciones orales 70 % y proyecto individual 30%
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S.R. DeGroot y P. Mazur, Non–Equilibrium Thermodynamics, (Dover)</li> <li>▪ L. García–Colín, Termodinámica de Procesos Irreversibles, (Universidad Autónoma Metropolitana).</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ D. Jou, J. Casas–Vásquez y G. Lebon, Extended Irreversible Thermodynamics (Springer).</li> <li>▪ L. Landau y E. Lifshitz: Mecánica de Fluidos (Reverté).</li> <li>▪ D. Jou y Llebot, J.E., Introducción a la Termodinámica de Procesos Biológicos (Labor)</li> <li>▪ Prigogine, Introducción a la Termodinámica de Procesos Irreversibles (Selecciones Científicas).</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES EN SISTEMAS COMPLEJOS I y II</b> Código USM: FIS480/481 Código PUCV: FIS966/892
<b>Descripción del curso</b>	La asignatura de “Tópicos especiales” corresponde a un conjunto de temas específicos y avanzados vinculados a la Tesis desarrollada por el alumno que cursa la asignatura. En general los tópicos cubiertos no han sido parte de las asignaturas de especialidad o requieren de una mayor nivel de profundidad para ser empleados de manera efectiva en el desarrollo de la Tesis de grado. Está asignatura es usualmente impartida en modalidad tutorial. Los tópicos específicos, son en este caso del área de <b>Sistemas complejos</b> . Ellos son definidos para cada asignatura por el profesor de la misma y propuestos al Comité de Programa para su aprobación
	<b>Asignatura de Tópicos especiales: Sistemas Complejos</b> Prerequisitos: Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	Entregar al estudiante una formación avanzada en temas específicos de su área ( <b>Sistemas Complejos</b> ) que tengan relación directa con el trabajo de investigación que realiza en el marco de su Tesis de grado.
<b>Contenidos</b>	A definir
<b>Modalidad de evaluación</b>	A definir por el profesor al inicio del curso
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b> Publicaciones científicas del área, tanto artículos originales como de revisión.
	<b>Recomendada:</b>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES EN SISTEMAS COMPLEJOS I ó II DINÁMICA DE PATRONES</b> Código USM: FIS480/481 Código PUCV: FIS966/892
<b>Descripción del curso</b>	<p>En este curso en el área de la Física No lineal, se revisarán ejemplos típicos de formación de patrones en sistemas fuera del equilibrio, estudiando modelos que presentan patrones. Luego se expondrán las herramientas matemáticas necesarias para estudiar la formación y dinámica de los patrones, en especial el análisis basado en las ecuaciones de amplitud.</p> <p>Las habilidades adquiridas serán útiles para enfrentar problemas de investigación en diversas áreas científicas, no sólo en Física.</p>
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Sistemas Complejos</b> Prerequisitos: Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	<p>Se espera que el estudiante que realiza este curso sea capaz de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manejar el concepto de patrón.</li> <li>- Obtener ecuaciones de amplitud.</li> <li>- Entender la dinámica de frentes.</li> <li>- Comprender que es una dislocación.</li> <li>- Resolver problemas usando ecuaciones de amplitud.</li> </ul>
<b>Contenidos</b>	<p>UNIDAD I Modelos prototipos de patrones</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 Modelo de Swift-Hohenberg.</li> <li>1.2 Ecuación de Ginzburg-Landau.</li> <li>1.3 Ecuación de Kuramoto-Sivashinsky.</li> <li>1.4 Modelos de Reacción-Difusión</li> </ol> <p>UNIDAD II Ecuación de Amplitud unidimensional</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 Derivación de la ecuación de amplitud.</li> <li>2.2 Propiedades de la ecuación de amplitud.</li> <li>2.3 Aplicaciones de la ecuación de amplitud.</li> <li>2.4 Limitaciones de la ecuación de amplitud.</li> </ol> <p>UNIDAD III Ecuación de Amplitud bidimensional</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 Sistemas con invariancia rotacional.</li> <li>3.2 Condiciones de borde.</li> <li>3.3 Sistemas anisotrópicos.</li> <li>3.4 Superposición de franjas.</li> <li>3.5 Hexágonos.</li> </ol>

	<p>UNIDAD IV Frentes y Defectos</p> <p>4.1 Dislocaciones.</p> <p>4.2 Frentes.</p> <p>4.3 Selección del número de onda.</p>
<b>Modalidad de evaluación</b>	La evaluación será por medio de tareas individuales
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Michael Cross, Henry Greenside, Pattern Formation and Dynamics in Nonequilibrium Systems (Cambridge University Press, 2009)</li> <li>▪ L. M. Pismen, Pattern and Interfaces in Dissipative Dynamics (Springer-Verlag, 2006)</li> <li>▪ M. C. Cross, P. C. Hohenberg, Pattern formation outside of equilibrium, Rev. Mod. Phys. 65, 851 (1993)</li> </ul>
	<p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ J. D. Murray, Mathematical Biology (Springer, 2002)</li> <li>▪ Igor S. Aranson, Lev S. Tsimring, Patterns and collective behavior in granular media: Theoretical concepts, Rev. Mod. Phys. 78, 641 (2006)</li> <li>▪ P. Chossat, G. Iooss, The Couette-Taylor Problem (Springer-Verlag, 1994)</li> <li>▪ H. Kielhöfer, Bifurcation Theory: An Introduction with Application to PDEs (Springer-Verlag, 2004)</li> <li>▪ S. Aranson, L. Kramer, The world of complex Ginzburg-Landau equation, Rev. Mod. Phys. 74, 99 (2002)</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES EN SISTEMAS COMPLEJOS I ó II</b> <b>FÍSICA DE RAYOS X</b> Código USM: FIS480/481 Código PUCV: FIS966/892
<b>Descripción del curso</b>	El curso presentará un resumen de las propiedades de los rayos X desde su generación hasta su uso en distintas modalidades experimentales. Una énfasis especial será dado a los fuentes de sincrotrón de la última generación como SIRIUS en Campinas, Brasil.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales – Sistemas Complejos</b> Prerequisitos: Electrodinámica, Procesos estocásticos de sistemas complejos Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 3 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: 1
<b>Objetivos</b>	Presentar una introducción a las propiedades de los rayos y su interacción con materia. Habrá un énfasis en su aplicación para fines experimentales, y el curso terminará con una experiencia experimental de difracción de rayos-X.
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Historia de la producción de rayos-X</li> <li>2. Dispersión de Rayos-X <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desde las ecuaciones de Maxwell</li> <li>• Dispersión por electrones libres</li> <li>• Dispersión por electrones ligados</li> </ul> </li> <li>3. Refracción y Reflexión de Rayos-X <ul style="list-style-type: none"> <li>• Índices de refracción</li> <li>• Coeficientes de reflexión</li> <li>• Relaciones de Kramer-Kronig</li> </ul> </li> <li>4. Radiación de Sincrotrón <ul style="list-style-type: none"> <li>• Onduladores y Wiggler</li> <li>• Previsión de los diferentes técnicos experimentales</li> </ul> </li> <li>5. Difracción de Rayos-X <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cristalografía</li> <li>• Dispersión de muestras desordenadas</li> <li>• Microscopía de Rayos-X</li> </ul> </li> <li>6. Experiencia Experimental <ul style="list-style-type: none"> <li>• Small Angle X-ray Scattering (Dispersión de rayos-X a ángulos pequeños) o Difracción de Bragg.</li> </ul> </li> </ol>
<b>Modalidad de evaluación</b>	Dos pruebas de 30% cada uno para la parte teórica, más un informe experimental en el estilo de un artículo para la parte experimental (40%).
<b>Bibliografía</b>	<b>Básica:</b>

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ A Hoffman, "The Physics of Synchrotron Radiation" Cambridge University Press, 2004.</li><li>▪ D. Atwood, "Soft X-rays and Extreme Ultraviolet Radiation", Cambridge University Press, 1999.</li></ul> <p><b>Recomendada:</b></p>
--	--

<p><b>Nombre del curso</b></p>	<p><b>TÓPICOS ESPECIALES EN SISTEMAS COMPLEJOS I ó II FORMAS NORMALES EN DIMENSIÓN INFINITA</b> Código USM: FIS480/481 Código PUCV: FIS966/892</p>
<p><b>Descripción del curso</b></p>	<p>En este curso optativo, dirigido a estudiantes de doctorado en Física interesados en el área de la Física No lineal, se revisa la teoría de bifurcación y la de formas normales en ecuaciones diferenciales ordinarias, para luego extenderla a las ecuaciones diferenciales parciales. Se contextualizará estos métodos a modelos universales con claras motivaciones en las áreas de la Física, la Biología y la Química. Las habilidades adquiridas serán útiles para enfrentar problemas de investigación en diversas áreas científicas, no sólo en Física.</p>
<p><b>Asignatura de Tópicos Especiales – Sistemas Complejos</b></p>	<p>Prerequisitos: Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -</p>
<p><b>Objetivos</b></p>	<p>Se espera que el estudiante que realiza este curso sea capaz de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manejar el concepto de bifurcación.</li> <li>- Caracterizar las bifurcaciones exhibidas por estados extendidos.</li> <li>- Entender la idea de separación de escalas (multiescalas).</li> <li>- Comprender el concepto de variables rápidas y lentas.</li> <li>- Aplicar la reducción a la variedad central a sistemas concretos.</li> <li>- Calcular la forma normal a sistemas con y sin espacio.</li> <li>- Resolver problemas concretos de la naturaleza usando ecuaciones de amplitud.</li> </ul>
<p><b>Contenidos</b></p>	<p>UNIDAD I Repaso de Teoría de Bifurcaciones 1.1 Bifurcaciones en dimensión 1. 1.2 Bifurcaciones en dimensión 2. 1.3 Simetrías. UNIDAD II Teoría de la Variedad Central 2.1 Teorema de la Variedad Central Local. 2.2 Ejemplos. 2.3 Casos particulares. 2.4 Ejemplos en dimensión infinita.</p>

	<p>UNIDAD III Formas Normales</p> <p>3.1 Teorema de las Formas Normales. 3.2 Ejemplos en dimensión: 2, 3 y 4. 3.3 Formas Normales con parámetros. 3.4 Simetría y Reversibilidad. 3.5 Bifurcaciones.</p> <p>UNIDAD IV Aplicaciones</p> <p>4.1 Inestabilidades Hidrodinámicas. 4.2 Ondas Viajeras. 4.3 Reacciones Químicas.</p>
<b>Modalidad de evaluación</b>	La evaluación será por medio de tareas que serán dadas durante las clases
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mariana Haragus, Gérard Iooss, Local Bifurcation, Center Manifolds, and Normal Forms in Infinite-Dimensional Dynamical Systems (Springer, 2011)</li> <li>▪ J. Carr, Applications of centre manifold theory (Springer-Verlag, 1981)</li> <li>▪ H. Mori, Y. Kuramoto, Dissipative Structures and Chaos (Springer-Verlag 1998)</li> </ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ J. D. Murray, Mathematical Biology (Springer, 2002)</li> <li>▪ P. Chossat, G. Iooss, The Couette-Taylor Problem (Springer-Verlag, 1994)</li> <li>▪ H. Kielhöfer, Bifurcation Theory: An Introduction with Application to PDEs (Springer-Verlag, 2004)</li> <li>▪ L. M. Pismen, Patterns and Interfaces in Dissipative Dynamics (Springer-Verlag, 2006)</li> <li>▪ M. C. Cross, P. C. Hohenberg, Pattern formation outside of equilibrium, Rev. Mod. Phys. 65, 851 (1993)</li> <li>▪ S. Aranson, L. Kramer, The world of complex Ginzburg-Landau equation, Rev. Mod. Phys. 74, 99 (2002)</li> <li>▪ J. Hale, L. T. Magalhaes, W. M. Oliva, Dynamics in Infinite Dimensions (Springer-Verlag, 2002)</li> </ul>

<b>Nombre del curso</b>	<b>TÓPICOS ESPECIALES EN SISTEMAS COMPLEJOS I ó II</b> <b>SISTEMAS GRANULARES</b> Código USM: FIS480/481 Código PUCV: FIS966/892
<b>Descripción del curso</b>	Consiste en introducir a la física de sistemas granulares teniendo en cuenta los avances recientes en el área y considerando además conceptos y herramientas utilizadas en diversas aplicaciones geofísicas e industriales.
	<b>Asignatura de Tópicos Especiales - Sistemas Complejos</b> Prerequisitos: Mecánica Clásica Y Física de Sistemas Complejos Créditos USM: 5 Créditos PUCV: 7 Horas Semanales Cátedra: 4 Horas Semanales Ayudantía: - Horas Semanales Laboratorio: -
<b>Objetivos</b>	En este curso se presenta el estado del arte de la física de los medios granulares y los recientes avances en este campo. Algunos temas considerados son: interacciones entre granos; comportamientos sólidos, líquidos y gaseosos; acoplamiento con un fluido; transporte de sedimentos y formación de estructuras geológicas. Las descripciones de los fenómenos combinan argumentos cualitativos y formales, procedentes de áreas tan diversas como la elasticidad, plasticidad, física estadística y mecánica de fluidos.
<b>Contenidos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición y ejemplos de medios granulares.</li> <li>• ¿Fluido o sólido? particularidades de los medios granulares.</li> </ul> </li> <li>2. Interacción a la escala de un grano <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuerza de contacto solido (Hertz, fricción y colisión)</li> <li>• Otras interacciones: electroestática, adhesión, capilaridad y puentes sólidos.</li> </ul> </li> <li>3. Solido Granular: estática, elasticidad y plasticidad <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apilamiento granular (fracción de volumen, compactación)</li> <li>• Fuerzas en un apilamiento (estadística)</li> <li>• Modelo de Mohr-Coulomb</li> <li>• Dilatación de Reynolds</li> </ul> </li> <li>4. Fluido y Gases Granulares <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reología (ley constitutiva)</li> <li>• Aplicaciones</li> </ul> </li> <li>5. Medios granulares sumergidos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecuaciones difásicas</li> </ul> </li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rol de un fluido en la compactación y dilatación</li> </ul> <p>6. Erosión y transporte sedimentario</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formación de dunas</li> <li>• Transporte eólico</li> <li>• Suspensión turbulenta</li> </ul>
<b>Modalidad de evaluación</b>	La evaluación se basa en tareas y presentaciones orales durante el curso.
<b>Bibliografía</b>	<p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ The physics of blown sand and desert dunes - R.A. Bagnold</li> <li>▪ Sans, Powders and Grains – Jacques Duran</li> <li>▪ Les milieux granulaires: entre fluides et solides – Andreotti, Forterre, Pouliquen.</li> <li>▪ Granular, Solids, Liquid and Gases, H. M. Jaegger, S. R. Nagel &amp; R.P. Behringer, RMP 68, 4 (1996).</li> </ul>
	<p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Granular matter: a tentative view, P. G. de Gennes, RMP 71,2 (1999).</li> <li>▪ Patterns and collective behavior in granular media: Theoretical concepts, I.S. Aranson &amp; L.S. Tsimring, RMP 78, 641 (2006).</li> </ul>

### Anexo N°7

EQUIVALENCIA DE NOTAS		
Escala 1-7	Escala 0-100	Observaciones
1,0	0	
1,5	8	
2,0	17	
2,5	25	
3,0	33	
3,5	42	
4,0	50	
4,1	52	
4,2	53	
4,3	55	
4,4	57	
4,5	58	
4,6	60	
4,7	62	
4,8	63	
4,9	65	
5,0	67	
5,1	68	
<b>5,2</b>	<b>70</b>	<b>Nota Aprobación Doctorado</b>
5,3	72	
5,4	73	
5,5	75	
5,6	77	
5,7	78	
5,8	80	
5,9	82	
6,0	83	
6,1	85	
6,2	87	

6,3	88	
6,4	90	
6,5	92	
6,6	93	
6,7	95	
6,8	97	
6,9	98	
7,0	100	

## Anexo N°8

### **Infraestructura: aulas, laboratorios y oficinas**

#### **PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO**

##### **Infraestructura**

- 510 m<sup>2</sup> de superficie de laboratorio.
- Red trifásica independiente (16A y 25A)..
- Taller electromecánico, técnico con dedicación exclusiva.
- Red de alta velocidad (1 Gbps) para transmisión de datos.
- Laboratorio de Cálculo numérico (16 núcleos en 6 procesadores).

##### **Equipamiento**

- Single-point laser vibrometer (Polytech).
- High-speed cameras (Phantom Miro M120 & AOS X-Pri).
- Modal Exciter (B&K).
- Sensores Mecánicos
- Láseres de instrumentación (láseres de diodo con potencias desde 10 hasta 300mW (en 635 y , un HeNe 10mW@632nm).
- Mesas ópticas (Thorlabs)..
- Elementos ópticos y opto-mecánicos para montajes ópticos varios.
- 2 sistemas de adquisición de datos de alta velocidad (National Instrument, 16-bit)

##### **Atmospheric and Statistical Optics Laboratory (@SOL Lab)**

En el @SOL se estudian fenómenos de propagación de luz en atmosferas turbulentas, propiedades estadísticas del campo de speckle, y las aplicaciones en metrología óptica de estos estudios.

Entre los temas de estudio, financiados a través de diferentes proyectos FONDECYT, se encuentran:

- Caracterización y modelado espacio-temporal de la anisotropía en la atmosfera turbulenta.
- Propagación de coherencia a través de turbulencia óptica.
- Reconstrucción de fase a tiempo real través del registro de la irradiancia en diferentes condiciones de iluminación.
- Reconstrucción de morfología y recintos magnéticos a través de luz sincrotrón.
- Propiedades tridimensionales del campo speckle para luz parcialmente coherente.

El laboratorio se ubica en una sala con una extensión de 45 m<sup>2</sup>, con presión negativa de aire, subdividido en cuatro sub-salas independientes. Para sus experimentos cuenta con una batería de equipo científico, entre los que se destacan:

- High-speed cameras: Phantom v610 (1280x800, B&W 12-bit, 6242FPS), y AOS X-Pri (B&W 800x600 px, 8-bit, 1000FPS).
- Digital Micromirror Device (DMD) V-7001 VIS (ViALUX, 1024x768, 1-bit, 23 kHz).
- Láseres de instrumentación (4 controladores para láseres de diodo con potencias desde 10 hasta 300mW en 635 y 380nm).
- 2 Telescopios Celestron Edge HD 1400 (Ø 35 cm, f=39 cm, Schmidt-Cassegrain aplanático).
- Sensor de frente de onda de Shack-Hartmann de alta resolución (1280 x 1024 px, 15 Hz, precisión máxima  $\lambda/50$ )
- 2 Mesas ópticas de absorción pasiva de vibraciones (Thorlabs).
- Elementos ópticos y opto-mecánicos para montajes ópticos varios.
- 1 sistemas de adquisición de datos de alta velocidad (National Instrument, 16-bit).

### **Complex Media & Non Linear Phenomena Lab (CMNP Lab)**

En el CMNP se estudian principalmente diferentes fenómenos dinámicos de materiales granulares, fluidos de reología compleja y fenómenos no-lineales. Entre ellos se destacan los siguientes:

- Visualización de fenómenos dinámicos en fluidos.
- Técnicas acústicas y ópticas en materiales Granulares.
- Dinámica de contacto.
- Análisis modal de vibraciones.
- Análisis de imágenes digitales.

El laboratorio cuenta con dos salas de 80 m<sup>2</sup> donde se ubican actualmente diversos experimentos financiados con proyectos FONDECYT. Producto de esta financiación los equipos más destacados son:

- High-speed camera Phantom Miro M120 (Vision Research).
- Single-point laser vibrometer (Polytech).
- 2 Modal Exciter (B&K).
- Sensores mecánicos, presión y vacío (MKS Instrument).
- Controladores de flujos.
- Compresores de aire.
- 4 tarjetas de adquisición de datos de alta velocidad (National Instrument, 16-bit).

- Sensores de: aceleración (4), de Fuerza dinámicos (3), de posición sin contacto (2), y de baja presión con amplificador de instrumentación de bajo ruido 1, OMEGA).
- Dos acondicionadores amplificadores de 4 canales para sensores ICP
- Dos amplificadores de potencia.
- Dos mesas ópticas con amortiguadores pasivos (Thorlabs).
- Computador para cálculo y análisis de datos (Intel i7, 16GB RAM, 2TB HDD).

### **Taller de Diseño e Implementación de Piezas Electromecánicas (DIEM)**

Este taller, en sus funciones actuales, ha sido creado hace cuatro años para cubrir las necesidades de los laboratorios de investigación y docencia del Instituto. Brinda apoyo de diseño asistido por computadora (FREECAD) para la preparación de partes para experimentos científicos o de docencia experimental, y cuenta con las siguientes herramientas para su fabricación:

- Fresadora (superficie de trabajo 230 x 1250 mm, peso máximo sobre la mesa 300 kg, 132–4540 RPM, avance rápido longitudinal automático).
- Torno paralelo universal (ancho de bancada 350 mm, 30–1500 RPM, rango de avance Longitudinal: 55 tipos en 0.044–1324 mm, rango de avance transversal: 55 tipos en 0.020–0.592 mm).
- Taladro pedestal (50 mm de perforación máxima, 52–1400 RPM, recorrido de mesa 530 mm).
- Soldadora de arco (Arctig 160 Indura, arco manual TIG).
- Impresora 3D (Zortrax M200 por extrusión de filamento, resolución 140–400  $\mu\text{m}$ , volumen de impresión 300 x 300 x 300 mm).
- Además de diferentes herramientas para la manipulación de material (sierra ingleteadora, trozadora de perfiles, sierra de banco, etc.).

### **Cluster del Grupo de Astrofísica, Cosmología y Gravitación**

Este cluster está diseñado para correr cadenas Monte Carlo en el análisis de datos y el cálculo numérico de un gran número de integrales, como por ejemplo cálculos de funciones de correlación con correcciones a loop. Se cuenta con un mini-cluster compuesto de 6 servidores HP Proliant DL 180 G9, cada uno que cuentan con 16 cores, 64GB de RAM y 600GB espacio de almacenamiento. Para seguridad, el sistema cuenta además con 2 UPS American Power fuentes de poder backup, y todo está guardado en un gabinete en el laboratorio de subterráneo.

## **Laboratorios UTFSM**

El departamento de física se encuentra en el Edificio Cereceda (E) en la casa central de la UTFSM ubicada en Valparaíso. Cinco de las seis plantas disponibles en este edificio están destinadas al Departamento de Física con un total de 3388 m<sup>2</sup>, de los cuales 454 m<sup>2</sup> corresponden a espacios comunes.

Espacios físicos que disponen los profesores y alumnos para las actividades del Programa:

- Dependencias administrativas
- Oficinas individuales para profesores permanentes
- Oficinas Individuales para profesores visitantes
- Oficinas compartidas para alumnos de Postgrado
- Salas de reuniones y estudio
- Salas de clases
- Salas de computación
- Salones de Conferencia
- Biblioteca y Hemeroteca
- Taller Multimedia
- Laboratorios de docencia
- Laboratorios de investigación
- Talleres Electrónico y mecánico

Se cuenta con una biblioteca departamental, con bibliografía de interés para la investigación y el postgrado además de publicaciones periódicas. Mediante proyectos como éste ha sido posible en el pasado adquirir tanto textos de estudios para los cursos básicos del postgrado como también avanzados en las diversas áreas desarrolladas en el programa. Se cuenta con acceso en línea a una amplia colección de publicaciones periódicas.

El equipamiento de los laboratorios descritos a continuación asociados al programa de doctorado en Física han sido adquiridos mediante recursos aportados por diferentes instituciones o fondos de financiamiento: Fundación Andes, Iniciativa Científica Milenio, FONDECYT, PBCT, pero sin duda el aporte mayoritario para este propósito lo constituye el aporte del programa MECESUP.

### **Laboratorio de Colisiones Atómicas en Sólidos (J. E. Valdés)**

El equipamiento disponible consiste en una fuente de iones gaseosos y metálicos que incluye un sistema de aceleración a bajas energías (0.1 a 15 keV/u). También consta de un sistema desacelerador para optimizar características del haz de iones a energías menores a 1keV/u. Además, dispone de un separador de masas o filtro de velocidades (Filtro de Wien). Las distribuciones de energía del haz de iones es determinada a través de un analizador electrostático de energía (ESA) de segmento esférico de 160°. Se cuenta también con un

sistema de detección de partículas de placas micro-canales (MCP) y electrónica asociada. Estos dos sistemas se ubican en la cámara principal de colisiones donde se encuentra el porta muestras. Las muestras son sostenidas con un manipulador de alta precisión de 5 ejes (XYZ mas dos rotaciones, azimutal y polar). También se cuenta con un sistema electrónico de análisis de tiempo de vuelo (TOF) para la determinación de energía de iones positivos, negativos y neutros. Todo este sistema opera en condiciones de ultra alto vacío (UHV) soportado con una bomba iónica de gran capacidad y varias bombas turbo moleculares. También se cuenta con un espectrómetro de masas con la finalidad de estudiar emisión de iones secundarios. Se cuenta también con un sistema de sputtering que se utiliza para preparación de láminas delgadas de referencia y recubrimiento de muestras para uso en microscopía de barrido.

El propósito de éste equipamiento es estudiar procesos fundamentales de la interacción de iones con materiales puros preparados como films ultra delgados de dimensiones nanométricas. En particular está orientado a entender la influencia de la estructura electrónica de diversos materiales de dimensiones nanométricas en los fenómenos de colisiones de iones con sólidos. Las mediciones experimentales se centran en la determinación de las secciones eficaces en energía, ángulo y estado de carga para los iones a través la obtención de las distribuciones de pérdida de energía de iones, determinación de las distribuciones angulares y los estado de carga. El conocimiento de éstos procesos permite estudiar y caracterizar y modificar algunas propiedades físicas en sólidos. También permite estudiar el daño y los efectos debido a irradiación de partículas pesadas en dichos materiales.

#### **Laboratorio de Caracterización magnética (C. García)**

Dispone de los siguientes equipos de medición y fabricación

- Sistema MOKE para la medición de la imanación superficial en sistemas ferromagnéticos
- Sistema de medición de resonancias ferromagnéticas en películas delgadas para frecuencias entre 2 y 18 GHz y campos entre 0 y 1 Tesla. Incluyendo variación angular.
- Sistema para medir GMI (Giant Magneto Impedance) mediante el uso de un VNA (Vector Network Analyzer)
- Sistema de deposición por evaporación física de hasta 7 materiales sin romper el vacío. Una presión base de  $2 \times 10^{-8}$  Torr

#### **Laboratorio de Ultra Alto Vacío y Espectroscopía (P. Häberle y V. del Campo):**

Este laboratorio consta de dos cámaras de ultra alto vacío (UHV). Una de ellas aloja un sistema de fotoemisión inversa isocromático (IPS), donde muestras bombardeadas con electrones de baja energía (<30eV) emiten fotones que pueden ser detectados con resoluciones de una longitud de onda. Las mediciones que se realizan en este sistema permiten estudiar la estructura electrónica de sólidos cristalinos. Últimamente se ha empleado este sistema para examinar materiales nanoestructurados crecidos “in situ” (en condiciones de UHV) y también sintetizados en condiciones atmosféricas en nuestro laboratorio de síntesis. Con el segundo sistema de IPS, aún en etapa de prueba, será posible detectar un rango de energía de los fotones emitidos, permitiendo así no sólo el estudio de la estructura de bandas de sistemas nanoestructurados, como se ha realizado en el pasado, sino también el estudio espectroscópico de excitaciones colectivas en estos sistemas.

#### **Microscopía de Barrido Túnel** (P. Häberle , C. Parra y V. del Campo):

El equipamiento disponible en estos laboratorios consiste de dos sistemas de Microscopía de Barrido Túnel (STM) albergados en cámaras de ultra alto vacío (UHV). A través de esta técnica es posible visualizar con resolución atómica la morfología y estructura superficial de muestras conductoras o semiconductoras. Por lo mismo esta herramienta es esencial para estudios a escala atómica en la línea de la Nanociencia y Nanotecnología. Estos microscopios además cuentan con cámaras UHV de preparación de muestras. Una de ellas permite realizar procesos de *annealing* y *sputtering*. Esto garantiza que las superficies estén libres de contaminación, condición imprescindible para realizar mediciones STM. Este equipamiento permite además modificar la superficie de las muestras con control nanométrico, al realizar bombardeo controlado de iones. La cámara de preparación está integrada también por un sistema de espectroscopia Auger que permite analizar la composición superficial con sensibilidad atómica y un sistema de evaporación de haces electrónicos para realizar crecimientos con tasas de depósito de pocos Å por minuto. El segundo STM cuenta con una cámara de preparación de muestras por el método de Evaporación Química desde el Vapor el Alto Vacío. Esto permite la síntesis de nanomateriales a partir de un gas precursor.

#### **Síntesis de Nanoestructuras y Caracterización Óptica** (P. Häberle)

Uno de los aspectos relevantes de todo laboratorio de nanotecnología es tener la capacidad de sintetizar muestras que exhiban dimensiones nanométricas. En nuestras dependencias contamos con un sistema CVD (Deposición de vapores químicos) para la síntesis química que nos ha permitido obtener nanomateriales con gran potencial para aplicaciones tecnológica como grafeno y nanotubos de carbono. Adicionalmente trabajamos en la anodización de láminas ultra delgadas de aluminio para la obtención de alúminas porosas que, apropiadamente combinadas con nanopartículas y metales electrodepositados, dan origen a nuevas estructuras de interés tecnológico.

Este laboratorio cuenta además con un espectrofluorímetro que permite la identificación de productos de la síntesis, como las distintas familias de CNTs de pared simple contenidas en muestras purificadas.

#### **Sistema de medición de transporte eléctrico ( R. Henríquez):**

En el laboratorio se encuentra disponible un sistema compuesto por amplificadores sintonizados, generadores de funciones, microvoltímetros y microamperímetros, que permite realizar mediciones de transporte eléctrico en diversos materiales. El sistema permite medir en modo alterno y continuo, pudiendo barrer varios órdenes de magnitud de resistencia eléctrica (entre Mega y micro ohm, aproximadamente). En conjunto, se dispone de un sistema de alto vacío (HV) en donde las muestras se pueden someter a campos magnéticos de hasta 2[T] de orientación variable con respecto al campo y variar la temperatura entre  $-150^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$ . Además, se dispone de un “dedo frío”, que permite variar la temperatura de las muestras entre 30 y 300 K, y campos magnéticos de hasta 0,5 [T]. Estos sistema permiten la caracterización galvanomagnética de distintos tipos de estructuras, midiendo su resistividad, magnetorresistencia y voltaje de Hall, en diferentes condiciones de presión y temperatura.

Por otro lado, se dispone de un sistema de alto vacío (HV) para evaporación termal, que permite la evaporación y caracterización eléctrica in situ de películas delgadas.

#### **Microscopía Electrónica de Barrido (P. Häberle y M. Moreno):**

En nuestras dependencias contamos con un sistema de microscopía electrónica de barrido (SEM) que entrega información morfológica superficial a través de la señal de electrones secundarios de baja energía. Esta herramienta permite visualizar estructuras de tamaño intermedio entre los observables por microscopía óptica y microscopía de barrido túnel, entregando información morfológica de muestras orgánicas e inorgánicas con características micro y nanométricas. Además nuestro SEM está equipado con un detector de energía dispersiva de rayos X (EDS) que permite la caracterización elemental de la superficie observada.

Soporte disponible para investigación

- Planta generadora de nitrógeno líquido: Marca CRYOMECH serie Inp-10: produciendo en forma constante 10 litros de Nitrógeno por día.
- Taller Mecánico: Equipado con torno, fresadora y soldadura al arco, soplete tig, taladro de pedestal, equipamiento y herramientas para trabajos en reparación, diseño y construcción de estructuras y partes de acero inoxidable compatibles con UHV.
- Taller Electrónico: Implementado para la calibración, reparación, diseño y construcción de equipamientos electrónicos, con osciloscopios, generadores, fuentes de poder, medidores para alta y media frecuencia, analizadores, etc.

- Taller de Vidrio: Equipado con lo necesario para la reparación, construcción y procesamiento de materiales de vidrio con sopletes, hornos, tornos de vidrio, pulidoras etc.

### **Laboratorio de Detectores de la Física de Partículas (W. Brooks).**

En el área experimental de física de alta energía se ha implementado este laboratorio, en el que se estudian y desarrollan detectores de variadas naturaleza, sobresaliendo los nuevos detectores de fotones MPPC, y los nuevos sTGC desarrollados y fabricados para CERN. Los equipos e instrumentación se han comenzado a adquirir. El laboratorio apunta a la construcción de prototipos de detectores de radiación para los experimentos de alta energía en los que colabora nuestro departamento, en particular ATLAS en el CERN (Suiza), los experimentos Gluex y CLAS/CLAS12, de Jefferson Lab (EEUU) y el futuro proyecto EIC (Electrón Ion Collider) (EEUU). Adicionalmente, el laboratorio apunta la formación de especialistas en esta área experimental nueva en Chile y al estudio de prototipos para aplicaciones futuras a otras áreas de las ciencias e ingenierías.

### **Descripción Equipamiento**

#### **Laboratorio Silab**

El laboratorio SiLab se encuentra ubicado en la planta baja del edificio E, en la casa central de la Universidad Técnica Federico Santa María, en Valparaíso. Actualmente el laboratorio cuenta con 8 salas con una superficie completa de 250 m<sup>2</sup>.

Desde su creación, el grupo del laboratorio coordinado por el Dr. William Brooks y el Dr. Sergey Kuleshov ha participado en diversas colaboraciones con distintos grupos de investigación asociada a la física alrededor del mundo. En este sentido el grupo se ha dedicado a la construcción de equipos científicos: Diseño electrónico, Construcción PCB, Prototipado en CNC, construcción de equipos, testeo y producción final.

Dentro de las colaboraciones más importantes realizadas se encuentran dos programas

de Subcontrato con el Jefferson Lab (Newport News, Virginia, EEUU) para la caracterización de fotomultiplicadores de silicio (2.800 piezas para lo cual se diseñaron y produjeron 3 estaciones de medición) y producción/testeo de 4.000 piezas de guías de luz, para ser instalados en el detector GlueX de la sala experimental Hall-D en Jefferson Lab. Actualmente el grupo mantiene una importante colaboración con el proyecto Preshower desarrollado para el laboratorio Brookhaven National Laboratory en EEUU y relacionado con la construcción de una nueva instalación experimental, el colisionador de electrones e iones (Electrón-Ion Collider, EIC). Además, recientemente el grupo de la UTFSM en conjunto con la Pontificia Universidad Católica de Chile ha sido oficialmente integrado al proyecto “New Small Wheel Upgrade”. La colaboración de la UTFSM con este proyecto consiste en la construcción y testeo del 10% de los detectores sTGC que serán instalados en el renovado detector ATLAS en CERN, Suiza, en tanto la PUC realizará también el testeo

de los mismo detectores antes del envío al CERN. El testeado de éstos se realizará con detectores de muones desarrollados y producidos por el SiLab.

El grupo además posee variados proyectos que van desde la creación de equipamiento científico de calidad y bajo costo, a proyectos que tienen importantes aplicaciones en la minería y la medicina.

### **Equipos de instrumentación que posee actualmente Silab:**

#### **Equipos del Área Mecánica del Silab**

**Centro de mecanizado CNC 5 ejes DATRON M8:** Es un equipo que permite fabricar piezas de alta complejidad geométrica y de alta precisión, lo que facilita el trabajo con tolerancias del orden de los micrones. La máquina permite la mecanización de materiales plásticos y metálicos no ferrosos. El material más duro que se mecaniza es el duraluminio. Posee un software de CAM integrado y es compatible con software CAD/CAM como es el caso del SolidCAM. Posee un sistema de cambio de herramientas que permiten almacenar hasta 10 herramientas. Esto provee mayor versatilidad y flexibilidad en la producción de piezas complejas. Alcanza 40.000 rpm con velocidad de avance igual a 20 metros por minuto. Con esta máquina fueron fabricadas 4000 guías de luz para el nuevo detector GlueX en Jefferson lab. Actualmente la máquina se utiliza para la fabricación de piezas del detector Preshower de EIC y piezas plásticas para los detectores de muones para la colaboración ATLAS así como también un amplio espectro de piezas necesarias para los proyectos desarrollados en el laboratorio, además de las colaboraciones que se realizan con otros proyectos y Universidades.

**Brazo Robótico KUKA KR 5 arc:** Es un dispositivo para la automatización de tareas mecánicas que el laboratorio requiere. Posee su propio computador y consola de manejo. Además, permite la programación de tareas en conjunto con otras máquinas. El brazo robótico maniobra piezas de hasta 5 kg. Actualmente este robot está destinado a la realización de pruebas de radiación para los detectores sTGC, que no son recomendables para las personas.

**Máquinas de prototipado CNC Roland MDX 40 y 40<sup>a</sup>:** Son dos máquinas que se utilizan para fabricación de prototipos de piezas mecánicas y de PCB de menor calidad. Cada una de las máquinas posee 3 ejes que le proveen una alta flexibilidad. Con estas máquinas se mecanizan sólo materiales plásticos debido a su baja potencia en trabajos de arranque de viruta. Las máquinas poseen su propio software de CAM, sin embargo leen incluso códigos CAM externos, por ejemplo de SolidCAM y están principalmente destinados a realizar trabajos de menor calidad de modo de alivianar la carga de la CNC DATRON.

**Máquina de medición óptica Dynascope™ VISION Engineering:** Es un dispositivo de observación y medición simultánea de alta resolución. Dynascope usa un disco de diámetro de 148 mm cuya superficie contiene mas de 3.5 millones de lentes individuales. Cada uno de los lentes mide tamaños de hasta 70 micrones. El disco de Dynascope gira a 3400 rpm uniendo millones de trayectorias ópticas individuales para proveer una imagen estéreo

expandida con amplia profundidad de foco y amplio campo visual. Además, posee una cámara que proyecta en la pantalla del computador la imagen de la pieza que está en el proceso de medición. El software integrado arroja los resultados de las mediciones con un error del orden de 3 micrones. Dynoscope fue utilizado para las mediciones de guías de luz para GlueX y actualmente se usa en el proyecto de Preshower.

**Horno al vacío Across International VO-16020:** Es un dispositivo para secado de pegamentos ópticos y el moldeado de películas ópticas de material polimérico complejo. Su temperatura máxima de operación es de 250°C. Además posee una bomba de vacío que provee hasta 50 mbar. Actualmente se usa en el proyecto de Preshower y en el proyecto de los detectores de muones.

**Máquina de pulido multifuncional:** Es un dispositivo fabricado en SiLab que posee 3 platos de pulido; cada uno de los cuales puede girar a distintas velocidades. La máquina se usó en el proyecto de guías de luz y actualmente se utiliza en los proyectos de Preshower y de los detectores de muones. Es una herramienta altamente requerida por los diversos proyectos para lograr las calidades ópticas requeridas.

**MakerBot Replicator Z18:** Es una impresora 3D, Utiliza una fibra de plástico la cual es fundida y posicionada con precisión de 100µm capa por capa. El tamaño máximo de la pieza que es capaz de imprimir es de 30cmx30cm en la base y 45 cm de altura.

**MakerBot Digitizer:** Es una scanner 3D, utiliza una tornamesa, laser lineales y una cámara para generar un modelo en 3D de alguna pieza bajo análisis.

**Flir Identifinder idF-NGH:** Es un dosímetro nuclear de gran precisión. Este dosímetro es utilizado para calibración de los equipos desarrollados en el laboratorio. Este además, es capaz de identificar la fuente de radiación o isótopo.

**CEFLA PRIMA Machine:** Es una máquina atomizadora de pintura de nivel industrial, su principal característica es la homogeneidad de la capa de pintura que aplica. El tamaño máximo de pieza que puede pintar es de 1500mm de ancho y dado que posee una correa transportadora, no posee un límite establecido para el largo de la pieza.

**Winding Machine:** Es una máquina devanadora especialmente diseñada para la construcción de sTGC para el proyecto de colaboración ATLAS MUON Upgrade. Puede devanar cátodos de hasta 1.5m de ancho por 2m de largo.

### **Equipos del área Electrónica del Silab**

**Probe Station MPS150:** Es una máquina de microelectrónica capaz de posicionar puntas de prueba en diminutos circuitos electrónicos con el objetivo de medir señales en éste. La estación consta de 4 puntas de prueba, las cuales se pueden desplazar en 3 ejes a nivel

micrométrico. La estación tiene incorporado un microscopio trinocular estéreo con una magnificación máxima de 100X, todo montado en una estructura anti-vibración.

**Diamonf Scriber RV-129:** Es un dispositivo capaz de cortar obleas de semiconductores utilizando una punta de diamante. El equipo posee un microscopio integrado para realizar cortes con mayor precisión. Además, cuenta con una mesa móvil que tiene incorporada un medidor de posición.

**Die Bonder & Component Placer T-3002-M:** Es un equipo utilizado para posicionar con gran precisión componentes electrónicos sobre una tarjeta para su posterior soldado. Con esta máquina también es posible pegar, utilizando un pegamento lento, cada uno de los componentes. Los componentes son sostenidos utilizando vacío, lo que permite una mayor maniobrabilidad.

**Bonder 5330:** Es una máquina que permite pegar un alambre (aleación de plata con aluminio) desde un chip a otro, o de un chip a algún terminal de conexión externo. El alambre que utiliza esta máquina es de 25 micrones de diámetro y es pegado utilizando un método de ultrasonido. El equipo posee un microscopio estéreo que ayuda a posicionar correctamente el cabezal de la máquina en la posición correcta.

**Denton Vacuum Desktop pro:** Es una máquina diseñada para la pulverización de alto rendimiento. Esta máquina es capaz de pulverizar fácilmente un film dieléctrico o de metal en un ambiente controlado en vacío. La pulverización produce una fina capa sobre una superficie a elección con una uniformidad mejor al 5% sobre los 150 mm de diámetro de trabajo.

**CIF FT02:** Es un horno de reflow, posee un control de temperatura y es utilizado para soldadura de componentes electrónicos superficiales.

### **Equipos del Area de Computación del Silab**

**Cluster de Computación de Alto Rendimiento de UTFSM:** Es un clúster de aproximadamente 500 núcleos de CPU y con espacio de 200 TB para almacenamiento de datos. Opera con sistema operativo Scientific Linux 6. Además, tiene 6 PCs de host para algunos servicios de la red internacional de computación GRID, conmutadores de red, fuentes de alimentación ininterrumpida. Todo el equipo está armado en 4 bastidores que llevan también 4 modules de GPU. El clúster está ubicado en el edificio del departamento de informática de la UTFSM. La sala de clúster está equipada con sistema de aire acondicionado suficientemente poderoso como para disipar hasta 15 kWatt energía de consumo. El clúster tiene una conexión dedicada a la red REUNA con el ancho de banda hasta 50 Gbit/sec.

**Consola de Operación Remota (UROC):** Es una estación computacional para realizar turnos experimentales en forma remota para el detector MINERvA en FermiLab (Chicago, EEUU). Está equipado con 4 pantallas y un dispositivo de videoconferencia Polycom V500

con su pantalla. Todo el equipo está montado sobre un armazón especial que permite la movilización del equipo en su conjunto según sea necesario. UROC fue recibido de Fermilab.

**La sala de videoconferencias en CCTVAL:** Está equipada con el objetivo de realizar videoconferencias con los colaboradores en el extranjero a través de las infraestructuras ESNET, Vidyo, SeeVogh, Skype, etc. Incluye un dispositivo de videoconferencias Polycom ViewStation FX equipado con una cámara giratoria, micrófonos y el dispositivo Polycom Visual Concert que permite la transmisión de diapositivas de presentaciones directamente del PC. Además, está equipado con un data proyector Sony VPL-EX7, un PC y un router de red Linksys WRT 160 NL Wireless-N. Particularmente la sala de videoconferencias se usa durante las reuniones con los colaboradores en CERN, Jefferson lab, Fermilab y BNL/EIC.

## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	2
TÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES .....	2
TÍTULO II: DE LA ADMINISTRACIÓN DEL PROGRAMA .....	3
TÍTULO III: DE LOS PROFESORES DEL PROGRAMA .....	4
TÍTULO IV: DE LA ADMISIÓN .....	6
TÍTULO V: DEL PLAN DE ESTUDIO Y DESARROLLO DEL PROGRAMA .....	7
TÍTULO VI: DEL EXAMEN DE CALIFICACIÓN .....	8
TÍTULO VII: DE LA TESIS Y EXAMEN DE GRADO .....	8
TÍTULO VIII: DEL GRADO ACADÉMICO .....	9
TÍTULO IX: DE LA RESPONSABILIDAD DEL PRESENTE REGLAMENTO .....	9
Anexo Nº 1 .....	11
Anexo Nº 2 .....	11
Anexo Nº 3 .....	12
Anexo Nº 4 .....	15
Anexo Nº 5 .....	15
Anexo Nº 6 .....	19
1.- Asignaturas de Formación General (Obligatorias) .....	19
2.- Asignaturas de Especialidad: Partículas y Campos .....	36
3.- Asignaturas de Especialidad: Materia Condensada .....	52
4.- Asignaturas de Especialidad: Astrofísica, Cosmología y Gravitación .....	71
5.- Asignaturas de Especialidad: Sistemas Complejos .....	95
Anexo Nº7 .....	115
Anexo Nº8 .....	117