

# **Facultad de Ciencias**

## **Grado en Física**

**GUÍA DOCENTE DE LA ASIGNATURA :**

**Física del Estado Sólido**  
**(2023 - 2024)**

## 1. Datos descriptivos de la asignatura

<b>Asignatura: Física del Estado Sólido</b>	<b>Código: 279193203</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Centro: <b>Facultad de Ciencias</b></li><li>- Lugar de impartición: <b>Facultad de Ciencias</b></li><li>- Titulación: <b>Grado en Física</b></li><li>- Plan de Estudios: <b>2009 (Publicado en 2009-11-25)</b></li><li>- Rama de conocimiento: <b>Ciencias</b></li><li>- Itinerario / Intensificación:</li><li>- Departamento/s: <b>Física</b></li><li>- Área/s de conocimiento: <b>Física Aplicada</b></li><li>- Curso: <b>3</b></li><li>- Carácter: <b>Obligatorio</b></li><li>- Duración: <b>Segundo cuatrimestre</b></li><li>- Créditos ECTS: <b>6,0</b></li><li>- Modalidad de impartición: <b>Presencial</b></li><li>- Horario: <b>Enlace al horario</b></li><li>- Dirección web de la asignatura: <b><a href="http://www.campusvirtual.ull.es">http://www.campusvirtual.ull.es</a></b></li><li>- Idioma: <b>Castellano</b></li></ul>	

## 2. Requisitos de matrícula y calificación

Los alumnos que no superen el 50% de los créditos del módulo de Formación Básica deberán matricularse, en el curso siguiente, de los créditos no superados y sólo podrán matricularse del número de créditos apropiado de este módulo hasta llegar al máximo de 60 créditos

## 3. Profesorado que imparte la asignatura

<b>Profesor/a Coordinador/a: FERNANDO DELGADO ACOSTA</b>
- Grupo:
<b>General</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Nombre: <b>FERNANDO</b></li><li>- Apellido: <b>DELGADO ACOSTA</b></li><li>- Departamento: <b>Física</b></li><li>- Área de conocimiento: <b>Física Aplicada</b></li></ul>

#### Contacto

- Teléfono 1: **922316502 (Ext 6452)**
- Teléfono 2:
- Correo electrónico: **fdelgadoa@ull.es**
- Correo alternativo: **fernando.delgado@ull.edu.es**
- Web: **<http://www.campusvirtual.ull.es>**

#### Tutorías primer cuatrimestre:

Desde	Hasta	Día	Hora inicial	Hora final	Localización	Despacho
Todo el cuatrimestre		Miércoles	14:30	16:30	Edificio de Física y Matemáticas - AN.2B	Edificio Calabaza, 2º planta
Todo el cuatrimestre		Viernes	14:30	16:30	Edificio de Física y Matemáticas - AN.2B	Edificio Calabaza, 2º planta
Todo el cuatrimestre		Lunes	11:00	13:00	Edificio Calabaza-Aulas - AN.2C	Edificio Calabaza, 2º planta

Observaciones:

#### Tutorías segundo cuatrimestre:

Desde	Hasta	Día	Hora inicial	Hora final	Localización	Despacho
Todo el cuatrimestre		Miércoles	14:30	16:30	Edificio de Física y Matemáticas - AN.2B	Edificio Calabaza, 2º planta
Todo el cuatrimestre		Viernes	14:30	16:30	Edificio de Física y Matemáticas - AN.2B	Edificio Calabaza, 2º planta
Todo el cuatrimestre		Lunes	11:00	13:00	Edificio Calabaza-Aulas - AN.2C	Edificio Calabaza, 2º planta

Observaciones:

#### 4. Contextualización de la asignatura en el plan de estudio

Bloque formativo al que pertenece la asignatura: **Física Obligatoria**  
Perfil profesional:

## 5. Competencias

### Competencias Generales

**CG2** - Adquirir una sólida base teórica, matemática y numérica, que permita la aplicación de la Física a la solución de problemas complejos mediante modelos sencillos

**CG3** - Desarrollar una clara percepción de situaciones aparentemente diferentes pero que muestran evidentes analogías físicas, lo que permite la aplicación de soluciones conocidas a nuevos problemas. Para ello es importante que el alumnado, además de dominar las teorías físicas, adquiera un buen conocimiento y dominio de los métodos matemáticos y numéricos más comúnmente utilizados.

**CG4** - Desarrollar la habilidad de identificar los elementos esenciales de un proceso o una situación compleja que le permita construir un modelo simplificado que describa, con la aproximación necesaria, el objeto de estudio y permita realizar predicciones sobre su evolución futura. Así mismo, debe ser capaz de comprobar la validez del modelo introduciendo las modificaciones necesarias cuando se observen discrepancias entre las predicciones y las observaciones y/o los resultados experimentales.

**CG6** - Saber organizar y planificar el tiempo de estudio y de trabajo, tanto individual como en grupo; ello les llevará a aprender a trabajar en equipo y a apreciar el valor añadido que esto supone.

**CG7** - Ser capaz de participar en debates científicos y de comunicar tanto de forma oral como escrita a un público especializado o no cuestiones relacionadas con la Ciencia y la Física. También será capaz de utilizar en forma hablada y escrita otro idioma, relevante en la Física y la Ciencia en general, como es el inglés.

**CG8** - Poseer la base necesaria para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía, tanto desde la formación científica, (realizando un master y/o doctorado), como desde la actividad profesional.

### Competencias Básicas

**CB2** - Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio

**CB3** - Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética

**CB4** - Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado

**CB5** - Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía

### Competencias Específicas

**CE1** - Conocer y comprender los esquemas conceptuales básicos de la Física y de las ciencias experimentales.

**CE3** - Tener una buena comprensión de las teorías físicas más importantes, localizando en su estructura lógica y matemática, su soporte experimental y el fenómeno físico que puede ser descrito a través de ellas.

**CE11** - Adquirir destreza en la modelización matemática de fenómenos físicos.

**CE14** - Analizar, sintetizar, evaluar y describir información y datos científicos

**CE19** - Desarrollar la "intuición" física.

**CE23** - Ser capaz de evaluar claramente los órdenes de magnitud, así como de desarrollar una clara percepción de las situaciones que son físicamente diferentes, pero que muestran analogías, permitiendo el uso de soluciones conocidas a nuevos problemas.

- CE24** - Afrontar problemas y generar nuevas ideas que puedan solucionarlos
- CE26** - Dominar la expresión oral y escrita en lengua española, y también en lengua inglesa, dirigida tanto a un público especializado como al público en general.
- CE28** - Adquirir hábitos de comportamiento ético en laboratorios científicos y en aulas universitarias.
- CE29** - Organizar y planificar el tiempo de estudio y trabajo, tanto individual como en grupo.
- CE30** - Saber discutir conceptos, problemas y experimentos defendiendo con solidez y rigor científico sus argumentos.
- CE31** - Saber escuchar y valorar los argumentos de otros compañeros.
- CE33** - Ser capaz de identificar lo esencial de un proceso / situación y establecer un modelo de trabajo del mismo.

## 6. Contenidos de la asignatura

### Contenidos teóricos y prácticos de la asignatura

#### TEMA 0: QUÉ ES Y POR QUÉ ESTUDIAMOS LA FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO

#### TEMA I: COMIENZOS DE LA FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO

- I.1 Calor específico de sólidos: de la Ley de Dulong-Petit a los modelos de Boltzman, Einstein y Debye
  - I.1.1. Problemas de los modelos microscópicos
- I.2. Electrones en metales
  - I.2.1 Teoría de Drude/Lorenz
    - I.2.1.1 Electrones en un campo eléctrico
    - I.2.1.2. Electrones en campos eléctricos y magnéticos
- I.3. Transporte Térmico
- I.4. Modelo cuántico de electrones libres: teoría de Sommerfeld
  - I.4.1. Estadísticas de Fermi–Dirac
  - I.4.2. Capacidad calorífica electrónica
- I.5. Deficiencias del modelo de electrones libres

#### TEMA II: ESTRUCTURA DE LA MATERIA

- II.1. La Tabla periódica
  - II.1.1 Química, átomos y ecuación de Schrödinger
  - II.1.2. Estructura de la tabla periódica
  - II.1.3. Tendencias en la tabla periódica
- II.2. Enlaces químicos
  - II.2.1. Enlaces iónicos
  - II.2.2. Enlace covalente: imagen de enlace fuerte (*tigh binding*)
  - II.2.3. Enlaces tipo Van der Waals
  - II.2.4. Enlace metálico
  - II.2.5. Enlaces de puentes de hidrógeno

#### TEMA III: MODELOS UNIDIMENSIONALES DE SÓLIDOS

- III.1. Entendiendo la compresibilidad, propagación del sonido y Expansión térmica
- III.2. Vibraciones de una cadena monoatómica unidimensional
  - III.2.1. Red recíproca
  - III.2.2. Propiedades de la dispersión de la cadena unidimensional
  - III.2.3. Modos cuánticos: fonones

- III.2.4. Momento cristalino
- III.3. Vibraciones de una cadena diatómica unidimensional
  - III.3.1. Celda unidad y base cristalina
  - III.3.2. Modos de vibración de un sólido diatómico.
  - III.3.2. Generalización a otras dimensiones y bases: *tensor elástico*
- III.4. Electrones en una cadena unidimensional: modelos *tight-binding*.
  - III.4.1. Introducción a la teoría de bandas. Llenado de bandas, bandas múltiples y deficiencias de la teoría de bandas.

#### TEMA IV: GEOMETRÍA DE SÓLIDOS Y ESTRUCTURA CRISTALINA

- IV.1. Redes cristalinas y celdas unidad
- IV.2. Redes cristalinas en 3 dimensiones
  - IV.2.1. Red cúbica centrada en el cuerpo (bcc)
  - IV.2.2. Red cúbica centrada en las caras (fcc)
  - IV.2.3. Otras redes cristalinas

#### TEMA V: Red recíproca, zonas de Brillouin y ondas en cristales

- V.1. La red recíproca en 3 dimensiones
  - V.1.1. Recordatorio del caso unidimensional
  - V.1.2. Definición de la red recíproca
  - V.1.3. La red recíproca como transformada de Fourier
  - V.1.4. Puntos de la red recíproca y planos cristalinos
- V.2. Zonas de Brillouin
  - V.2.1. Recordatorio de las relaciones de dispersión y zonas de Brillouin en una dimensión
  - V.2.2. Construcción general de las zonas de Brillouin
- V.3. Ondas electrónicas y vibracionales en cristales tridimensionales
- V.4. Difracción de neutrones y rayos X
  - V.4.1. Condición de Bragg-Laue
  - V.4.2. Aproximación usando la Regla de Oro de Fermi
  - V.4.3. Amplitud de scattering
  - V.4.4. Interpretación geométrica de las reglas de selección
- V5. Otras técnicas experimentales: respuesta lineal y fórmula de Kubo
  - V5.1. Respuesta estática
  - V5.2. Respuesta dinámica
  - V5.3. Causalidad, densidad espectral y relaciones de Kramers-Kronig

#### TEMA VI: ELECTRONES EN SÓLIDOS

- VI.1. Electrones en un potencial periódico
  - VI.1.1. Modelo de electrones cuasi libres
  - VI.1.2. Teoría de la perturbación degenerada
- VI.2. Teorema de Bloch
  - VI.2.1. Ecuación central de sistemas periódicos
  - VI.2.2. Aplicación perturbativa de la ecuación central de sistemas periódicos
- VI.3. Aislante, semiconductor o metal
  - VI.3.1. Bandas de energía en una dimensión
  - VI.3.2. Bandas de energía en dos y tres dimensiones
  - VI.3.3. Fallos de la teoría de bandas
  - VI.3.4. Estructura de banda y propiedades ópticas
- VI.4. Física de semiconductores

- VI.4.1. Electrones y huecos: transporte
- VI.4.2. Dispositivos semiconductores
  - VI.4.2.1. Ingeniería de bandas: dopado con impurezas
  - VI.4.2.2. Unión p-n
  - VI.4.2.3. El transistor

#### TEMA VII: PROPIEDADES MAGNÉTICAS

- VII.1. Magnetismo de átomos: paramagnetismo y diamagnetismo
  - VII.1.1. Definiciones de tipos de magnetismo
  - VII.1.2. Física atómica: reglas de Hund
  - VII.1.3. Acoplamiento de electrones en átomos a un campo magnético externo
  - VII.1.4. Paramagnetismo de espín (Curie o Langevin)
  - VII.1.5. Diamagnetismo de Larmor
- VII.2. Átomos en sólidos
  - VII.2.1. Paramagnetismo de Pauli en metales
  - VII.2.2. Diamagnetismo en sólidos
- VII.3. Órdenes magnéticos espontáneos: ferro, antiferro y ferrimagnetismo
  - VII.3.1. Tipos de órdenes magnéticos espontáneos
  - VII.3.2. Rotura de simetría
- VII.4. Dominios magnéticos e histéresis
  - VII.4.1. Paredes de dominio: pared de Bloch y Néel
  - VII.4.2. Efectos del desorden
- VII.5. Técnicas experimentales para el estudio del magnetismo
- VII.6. Teorías de campo medio: susceptibilidad magnética
  - VII.6.1. Modelo de Ising ferromagnético en campo medio
  - VII.6.2. Magnetismo en sistemas de electrones correlacionados: modelo de Hubbard, criterio de Stoner y aislantes de Mott

#### Actividades a desarrollar en otro idioma

Manejo de bibliografía básica en inglés.

### 7. Metodología y volumen de trabajo del estudiante

#### Descripción

La asignatura se imparte mediante clases magistrales de teoría y clases de problemas. El profesor proporcionará con antelación el material de trabajo, donde se alternarán presentaciones en diapositivas con explicaciones detalladas en la pizarra. Los alumnos participarán junto al profesor en la resolución de problemas, promoviendo la interactividad y discusión de resultados. Las tutorías servirán para resolver dudas de forma individualizada, así como afianzar conceptos que pudieran no haber quedado claros.

**Actividades formativas en créditos ECTS, su metodología de enseñanza-aprendizaje y su relación con las competencias que debe adquirir el estudiante**

Actividades formativas	Horas presenciales	Horas de trabajo autónomo	Total horas	Relación con competencias
Clases teóricas	26,00	0,00	26,0	[CE3], [CG2]
Clases prácticas (aula / sala de demostraciones / prácticas laboratorio)	15,00	0,00	15,0	[CE30], [CE23]
Realización de seminarios u otras actividades complementarias	15,00	0,00	15,0	[CE3], [CB5], [CB4], [CB3], [CB2], [CG2]
Realización de exámenes	4,00	0,00	4,0	[CE30]
Estudio y trabajo autónomo en todas las actividades	0,00	90,00	90,0	[CE33], [CE31], [CE30], [CE29], [CE28], [CE26], [CE24], [CE23], [CE19], [CE14], [CE11], [CE3], [CE1], [CG8], [CG7], [CG6], [CG4], [CG3], [CG2]
Total horas	60,00	90,00	150,00	
		Total ECTS	6,00	

## 8. Bibliografía / Recursos

### Bibliografía Básica

STEVEN H. SIMON,  
The Oxford Solid State Basics  
, Oxford University Press (2013)

STEVEN M. GIRVIN, KUN YANG, Modern Condensed Matter Physics -Cambridge University Press (2019)

### Bibliografía Complementaria

J. PIQUERAS y J.M. ROJO, Problemas de introducción a la Física del Estado Sólido. Ed. Alhambra, 1980  
J. MAZA, J. MOSQUEIRA y J.A. VEIRA, Física del Estado Sólido. Ejercicios resueltos. Ed. Universidad de Santiago de Compostela, 2003

CHARLES KITTEL, Introduction to Solid State Physics, (8ª Edition, John Wiley & Sons, 2004)

HAN FUXIANG,  
Problems in solid state physics with solutions  
(2012, World Scientific)

N.W. ASHCROFT y N.D. MERMIN, Solid State Physics. W.B. Saunders Company.

#### Otros Recursos

Aula de docencia virtual de la Universidad de La Laguna: <http://campusvirtual.ull.es>

Material de presentaciones de los temas y hojas de problemas planteadas por el profesor

## 9. Sistema de evaluación y calificación

### Descripción

Las estrategias de evaluación seguidas en la asignatura siguen el Reglamento de Evaluación y Calificación de la Universidad de La Laguna. La evaluación será preferentemente continuada y formativa dentro de lo establecido en la normativa de evaluación y calificación de la Universidad de La Laguna y en el marco de los criterios generales de la Universidad de La Laguna.

La evaluación continua constará de dos pruebas escritas con problemas teórico-prácticos a desarrollar, la primera a mitad de curso y la segunda al final. La nota de la evaluación continua será la media aritmética de las calificaciones de las dos pruebas. Las fechas para los exámenes de la evaluación continua se fijarán en coordinación con el resto de asignaturas del grado para evitar un número excesivo de controles que coincidan en una franja temporal demasiado estrecha. Los alumnos que hayan superado el 8 en la primera prueba y que estén interesados en optar a matrícula de honor harán una prueba oral de exposición crítica de un trabajo de investigación relevante en física de la materia condensada de los últimos 5 años. La rúbrica de evaluación de dicha prueba estará a disposición de los alumnos desde el principio del curso. El profesor proporcionará con suficiente antelación una selección de artículos, y el alumno ha de escoger uno para su posterior presentación. Esta prueba dará una puntuación máxima de 1.5 puntos sobre la media de las dos pruebas.

La evaluación de la asignatura se hará en base a la calificación obtenida según el modelo de evaluación establecido en la memoria de verificación del título, consistente en la evaluación continua descrita anteriormente (c) y un examen de convocatoria (z) de carácter obligatorio al final del cuatrimestre. La calificación final será el resultado ponderado de las evaluaciones mencionadas, obtenida a partir del modelo especificado en la Memoria del Grado de Física de la ULL. De acuerdo a dicho modelo, la calificación final de la asignatura vendrá dada por:

$$p = z + 0.4 c (1 - z/10),$$

donde z es la nota del examen y c la de la evaluación continua, es decir, la media de los parciales iniciales. Si un alumno no se presenta al examen se le calificará como No Presentado. Para aplicar la fórmula anterior se requiere que en el examen global se supere 1/3 de la calificación máxima y que se apruebe la evaluación continua ( $c \geq 5$ ). Los exámenes finales en las fechas de convocatorias oficiales permitirán tanto la recuperación de las competencias no superadas a lo largo del cuatrimestre como subir nota. La calificación de los alumnos que no aprueben la evaluación continua será la calificación de la prueba de final (z).

En el caso de los alumnos que hayan optado por la evaluación única a realizar en las convocatorias oficiales, su nota será la del examen de convocatoria (z). También podrán optar a esta evaluación única quienes no hayan superado la evaluación continua. La convocatoria de evaluación única se realizará mediante una prueba de evaluación escrita (z), pudiendo incorporarse a la misma la calificación (c) obtenida a lo largo del cuatrimestre en el que se imparte la asignatura, con análoga ponderación.

#### Estrategia Evaluativa

Tipo de prueba	Competencias	Criterios	Ponderación
Pruebas objetivas	[CE33], [CE31], [CE30], [CE29], [CE28], [CE26], [CE24], [CE23], [CE19], [CE14], [CE11], [CE3], [CE1], [CB5], [CB4], [CB3], [CB2], [CG8], [CG7], [CG6], [CG4], [CG3], [CG2]	Resolución de problemas de forma correcta y debidamente justificada, tanto en los controles de la evaluación continua como en los exámenes de convocatoria. Uso correcto de las unidades en magnitudes físicas.  El uso incorrecto de unidades o la falta de unidades en magnitudes físicas dimensionales acarreará la sustracción de TODA la puntuación en el ejercicio en el que se haya cometido ese error.	100,00 %

### 10. Resultados de Aprendizaje

Se pretenden alcanzar los siguientes resultados básicos:

- Comprender las interacciones, mecanismos y fenómenos físicos básicos que rigen la física del estado sólido.
- Comprender la relación entre estructura, características de los enlaces, y propiedades de los sólidos
- Ser capaz de aplicar conceptos de otras ramas de la física (física clásica, física cuántica, física estadística, etc.) al análisis y resolución de problemas de la física de la materia condensada.
- Ser conscientes del papel fundamental de la estructura electrónica y su influencia en las propiedades de transporte, ópticas y magnéticas de los materiales
- Tener una idea general de los fundamentos de distintas técnicas experimentales aplicadas al estudio de la física del estado sólido.
- Entender conceptos, problemas y experimentos para defender con solidez y rigor científico sus argumentos.

### 11. Cronograma / calendario de la asignatura

**Descripción**

La distribución de los temas por semana es orientativa y puede sufrir cambios según las necesidades de organización docente.

Primer cuatrimestre					
Semana	Temas	Actividades de enseñanza aprendizaje	Horas de trabajo presencial	Horas de trabajo autónomo	Total
Semana 1:			0.00	0.00	0.00
Semana 2:			0.00	0.00	0.00
Semana 3:			0.00	0.00	0.00
Semana 4:			0.00	0.00	0.00
Semana 5:			0.00	0.00	0.00
Semana 6:			0.00	0.00	0.00
Semana 7:			0.00	0.00	0.00
Semana 8:			0.00	0.00	0.00
Semana 9:			0.00	0.00	0.00
Semana 10:			0.00	0.00	0.00
Semana 11:			0.00	0.00	0.00
Semana 12:			0.00	0.00	0.00
Semana 13:			0.00	0.00	0.00
Semana 14:			0.00	0.00	0.00
Semana 15:			0.00	0.00	0.00
Semana 16 a 18:			0.00	0.00	0.00
<b>Total</b>			0.00	0.00	0.00
Segundo cuatrimestre					

Semana	Temas	Actividades de enseñanza aprendizaje	Horas de trabajo presencial	Horas de trabajo autónomo	Total
Semana 1:	<p><b>Tema 0:</b> QUÉ ES Y POR QUÉ ESTUDIAMOS LA FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO</p> <p><b>Tema I:</b> COMIENZOS DE LA FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO</p>	<p>0) ¿Qué es y por qué estudiar la física de la materia condensada y el estado sólido?</p> <p>I.1) Modelos premicroscópicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>I.1) Calor específico en sólidos: modelos de Einstein y Deby</li> <li>I.2) Electrones en metales: modelo de Drude, Lorenz y Sommerfeld</li> <li>I.3) Deficiencias de los modelos de electrones libres</li> </ul>	4.00	6.00	10.00
Semana 2:	<p><b>Tema II:</b> ESTRUCTURA DE LA MATERIA</p> <p><b>Tema III:</b> MODELOS UNIDIMENSIONALES DE SÓLIDOS</p>	<p>II) Estructura de la materia</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>II.1. La Tabla periódica. II.1.1 Química, átomos y ecuación de Schrödinger. II.1.2. Estructura de la tabla periódica. II.1.3. Tendencias en la tabla periódica.</li> <li>II.2. Enlaces químicos. II.2.1. Enlaces iónicos. II.2.2. Enlace covalente: imagen de enlace fuerte (<i>tight binding</i>). II.2.3. Enlaces tipo Van der Waals</li> <li>II.2.4. Enlace metálico. II.2.5. Enlaces de puentes de hidrógeno</li> </ul> <p>III.1. Entendiendo la compresibilidad, propagación del sonido y Expansión térmica</p> <p>III.2. Vibraciones de una cadena monoatómica unidimensional. III.2.1. Red recíproca. III.2.2. Propiedades de la dispersión de la cadena unidimensional. III.2.3. Modos cuánticos: fonones.</p> <p><b>Problemas de fonones I:</b> cuantización del momento cristalino, condiciones de contorno, y densidad de modos</p>	4.00	6.00	10.00
Semana 3:	<p><b>Tema III:</b> MODELOS UNIDIMENSIONALES DE SÓLIDOS</p>	<p>III.2.4. Momento cristalino</p> <p>III.3. Vibraciones de una cadena diatómica unidimensional. III.3.1. Celda unidad y base cristalina. III.3.2. Modos de vibración de un sólido diatómico.</p> <p><b>Problemas de fonones II:</b> capacidad calorífica en el modelo de Debye, modos de vibración en 2D, modos evanescentes.</p>	4.00	6.00	10.00

Semana 4:	<b>Tema III: MODELOS UNIDIMENSIONALES DE SÓLIDOS</b>	<p>III.3.3. Generalización a otras dimensiones/bases. III.4. Electrones en una cadena unidimensional: modelos <i>tight-binding</i>. III.4.1. Introducción a la teoría de bandas. Llenado de bandas, bandas múltiples.</p> <p><b>Problemas electrones I:</b> modelo de Sommerfeld, densidad de estados, electrones en potencial periódicos (<i>tight-binding</i>).</p>	2.00	5.00	7.00
Semana 5:	<b>Tema III: MODELOS UNIDIMENSIONALES DE SÓLIDOS</b>	<p>Bandas de energía en 2D y 3D. Propiedades ópticas y bandas de energía. Deficiencias de la teoría de bandas.</p> <p><b>Problemas electrones II:</b> <i>tight-binding</i></p>	4.00	6.00	10.00
Semana 6:	<p><b>Tema IV: GEOMETRÍA DE SÓLIDOS Y ESTRUCTURA CRISTALINA</b></p> <p><b>TEMA V: RED RECÍPROCA, ZONAS DE BRILLOUIN Y BANDAS EN CRISTALES</b></p>	<p>- IV.1. Redes cristalinas y celdas unidad - IV.2. Redes cristalinas en 3 dimensiones. IV.2.1. Red cúbica centrada en el cuerpo (bcc). IV.2.2. Red cúbica centrada en las caras (fcc). IV.2.3. Otras redes cristalinas</p> <p>- V.1. La red recíproca en 3 dimensiones. V.1.1. Recordatorio del caso unidimensional. V.1.2. Definición de la red recíproca. V.1.3. La red recíproca como transformada de Fourier. V.1.4. Puntos de la red recíproca y planos cristalinos.</p> <p><b>Problemas estructura cristalina I:</b> estructura cristalina, redes de Bravais y base.</p>	4.00	6.00	10.00
Semana 7:	<b>TEMA V: RED RECÍPROCA, ZONAS DE BRILLOUIN Y BANDAS EN CRISTALES</b>	<p>- V.2. Zonas de Brillouin. V.2.1. Recordatorio de las relaciones de dispersión y zonas de Brillouin en una dimensión. V.2.2. Construcción general de las zonas de Brillouin. - V.3. Ondas electrónicas y vibracionales en cristales tridimensionales</p> <p><b>Problemas estructura cristalina II:</b> Diferentes redes cúbicas y fracción de empaquetamiento.</p> <p>Primer parcial evaluación continua</p>	4.00	6.00	10.00

Semana 8:	<b>TEMA V:</b> RED RECÍPROCA, ZONAS DE BRILLOUIN Y BANDAS EN CRISTALES	<p>- V.4. Difracción de neutrones y rayos X. V4.1. Condición de Bragg-Laue. V.4.2. Aproximación usando la Regla de Oro de Fermi. V.4.3. Amplitud de scattering. V.4.4. Interpretación geométrica de las reglas de selección.</p> <p>- V5. Otras técnicas experimentales: respuesta lineal.</p> <p><b>Problemas red recíproca I:</b> problemas de la red recíproca: espacio recíproco en redes cúbicas, vectores de la red primitiva, índices de Miller y espaciado entre familias de planos.</p>	4.00	6.00	10.00
Semana 9:	<b>TEMA VI:</b> ELECTRONES EN SÓLIDOS	<p>- VI.1. Electrones en un potencial periódico. VI.1.1. Modelo de electrones cuasi libres. VI.1.2. Teoría de perturbaciones degenerada.</p> <p>- VI.2. Teorema de Bloch</p> <p>VI.2.1. Ecuación central de sistemas periódicos</p> <p>VI.2.2. Aplicación perturbativa de la ecuación central de sistemas periódicos</p> <p><b>Problemas electrones III:</b> problemas de electrones en redes bi y tridimensionales</p>	4.00	6.00	10.00
Semana 10:	<b>TEMA VI:</b> ELECTRONES EN SÓLIDOS	<p>- VI.3. Aislante, semiconductor o metal. VI.3.1. Bandas de energía en una dimensión. VI.3.2. Bandas de energía en dos y tres dimensiones. VI.3.3. Fallos de la teoría de bandas. VI.3.4. Estructura de banda y propiedades ópticas</p>	4.00	6.00	10.00
Semana 11:	<b>TEMA VI:</b> ELECTRONES EN SÓLIDOS	<p>- VI.4. Física de semiconductores. VI.4.1. Electrones y huecos: transporte. VI.4.2. Dispositivos semiconductores. VI.4.2.1. Ingeniería de bandas: dopado con impurezas. VI.4.2.2. Unión p-n. VI.4.2.3. El transistor.</p> <p><b>Problemas semiconductores I:</b> problemas de semiconductores y nanoestructuras semiconductoras</p>	4.00	6.00	10.00

Semana 12:	<b>TEMA VII:</b> PROPIEDADES MAGNÉTICAS	<p>VII.1. Magnetismo de átomos: paramagnetismo y diamagnetismo. VII.1.1. Definiciones de tipos de magnetismo. VII.1.2. Física atómica: reglas de Hund. VII.1.3. Acoplamiento de electrones en átomos a un campo magnético externo.</p> <p>- <b>Problemas magnetismo I:</b> problemas de magnetismo: reglas de Hund y magnetismo atómico</p>	4.00	6.00	10.00
Semana 13:	<b>TEMA VII:</b> PROPIEDADES MAGNÉTICAS	<p>VII.1.4. Paramagnetismo de espín (Curie o Langevin). VII.1.5. Diamagnetismo de Larmor.</p> <p>- VII.2. Magnetismo de átomos en sólidos. VII.2.1. Paramagnetismo de Pauli en metales. VII.2.2. Diamagnetismo en sólidos.</p> <p>- VII.3. Órdenes magnéticos espontáneos: ferro, antiferro y ferrimagnetismo. VII.3.1. Tipos de órdenes magnéticos espontáneos. VII.3.2. Rotura de simetría</p> <p>- VII.4. Dominios magnéticos e histéresis. VII.4.1. Paredes de dominio: pared de Bloch y Néel. VII.4.2. Efectos del desorden.</p> <p>- <b>Problemas magnetismo II:</b> anisotropía y órdenes magnéticos</p>	4.00	6.00	10.00
Semana 14:	<b>TEMA VII:</b> PROPIEDADES MAGNÉTICAS	<p>- VII.5. Técnicas experimentales para el estudio del magnetismo VII.6. Teorías de campo medio: susceptibilidad magnética</p> <p><i>Visita al SEGAI.</i></p> <p><b>Problemas magnetismo III:</b> magnetismo y campo medio</p>	3.00	5.00	8.00

Semana 15:	<b>TEMA VII:</b> PROPIEDADES MAGNÉTICAS	VII.6.1. Modelo de Ising ferromagnético en campo medio. VII.6.2. Magnetismo en sistemas de electrones correlacionados: modelo de Hubbard, criterio de Stoner y aislantes de Mott.	3.00	5.00	8.00
Semana 16 a 18:	Evaluación: preparación de exámenes y revisión de exámenes	Segundo parcial evaluación continua	4.00	3.00	7.00
Total			60.00	90.00	150.00