



## Guía docente de la asignatura

<b>Asignatura</b>	<b>Física del Estado Sólido</b>		
<b>Materia</b>	<b>Estructura de la Materia</b>		
<b>Módulo</b>			
<b>Titulación</b>	Grado en Física		
<b>Plan</b>	469	<b>Código</b>	45770
<b>Periodo de impartición</b>	Cuatrimstral	<b>Tipo/Carácter</b>	Obligatoria
<b>Nivel/Ciclo</b>	Grado	<b>Curso</b>	4º
<b>Créditos ECTS</b>	6		
<b>Lengua en que se imparte</b>	Español		
<b>Profesor/es responsable/s</b>	Miguel Angel Rodríguez Pérez		
<b>Datos de contacto (E-mail, teléfono...)</b>	marrod@fmc.uva.es		
<b>Horario de tutorías</b>	Véase <a href="http://www.uva.es">www.uva.es</a> → Centros → Campus de Valladolid → Facultad de Ciencias → Tutorías		
<b>Departamento</b>	Física de la Materia Condensada		



## 1. Situación / Sentido de la Asignatura

### 1.1 Contextualización

La física que han aprendido los alumnos durante sus tres primeros años de estudio tiene un enorme potencial para entender sistemas complejos. Los sólidos cristalinos son sistemas de enorme complejidad caracterizados por tener un elevado número de partículas que interaccionan entre si. Sin embargo estos sistemas se pueden entender a través de la aplicación de principios físicos como la simetría de traslación, los principios de la mecánica cuántica, el concepto de excitaciones elementales la presencia de imperfecciones, impurezas, vacantes, intersticiales, etc.

En la Física del Estado Solido los alumnos usarán buena parte de los conocimientos adquiridos en mecánica cuántica, mecánica y ondas, termodinámica y electromagnetismo para poder entender los modelos que permiten predecir las propiedades de los sólidos cristalinos en función de su naturaleza y organización atómica.

La asignatura se encuentra en el último curso del grado, ya que para poder abordarla es necesario que los alumnos hayan superado los tres primeros cursos del grado.

### 1.2 Relación con otras materias

Como se ha mencionado para poder entender esta asignatura los alumnos tienen que conocer áreas de la física como la mecánica cuántica, mecánica y ondas, termodinámica y electromagnetismo. Por otro lado la asignatura está relacionada con la electrónica que se imparte en el mismo curso, ya que la electrónica usa algunos de los resultados de la Física del Estado Sólido como punto de partida para realizar un estudio detallado de los semiconductores.

### 1.3 Prerrequisitos

Como se ha mencionado en la sección 1.1. el alumno deber adquirir buena parte de los conocimientos impartidos en los tres primeros cursos para poder entender esta asignatura.



## 2. Competencias

Se indican a continuación las descritas en la Memoria Verifica del Grado en Física de la UVa.

### 2.1 Generales

- T1: Capacidad de análisis y de síntesis.
- T2: Capacidad de organización y planificación.
- T3: Capacidad de comunicación oral y escrita.
- T4: Capacidad de resolución de problemas.
- T5: Capacidad de trabajar en equipo.
- T7: Capacidad de trabajo y aprendizaje autónomo.
- T8: Capacidad de adaptación a nuevas situaciones.
- T9: Creatividad.

### 2.2 Específicas

E1: Adquirir una comprensión de la naturaleza de la investigación física, de las formas en que se lleva a cabo y de cómo la investigación en Física es aplicable a muchos campos diferentes al de la Física.

E3: Ser capaz de comparar nuevos datos experimentales con modelos disponibles para revisar su validez y sugerir cambios con el objeto de mejorar la concordancia de los modelos con los datos.

E4: Ser capaz de iniciarse en nuevos campos a través de estudios independientes.

E5: Ser capaz de evaluar claramente los ordenes de magnitud, de desarrollar una clara percepción de las situaciones que son físicamente diferentes, pero que muestran analogías y, por lo tanto, permiten el uso de soluciones conocidas a nuevos problemas.

E6: Ser capaz de realizar las aproximaciones requeridas con el objeto de reducir un problema hasta un nivel manejable.

E7: Ser capaz de desarrollar software propio y manejar herramientas informáticas convencionales.

E8: Ser capaz de buscar y utilizar bibliografía en Física y otra bibliografía técnica, así como cualquier fuente de información relevante para trabajos de investigación y desarrollo técnico de proyectos.

E9: Estar adecuadamente preparado para ejercitar una labor docente.

E10: Ser capaz de mantenerse informado de los nuevos desarrollos.

E11: Adquirir familiaridad con las fronteras de la investigación.

E12: Tener una buena comprensión de las teorías físicas más importantes, de su estructura lógica y matemática y su soporte experimental.



E13: Ser capaz de integrar los conocimientos recibidos de las diferentes áreas de la Física para la resolución de un problema.

E14: Haberse familiarizado con los modelos experimentales más importantes, y ser capaz de realizar experimentos de forma independiente, así como describir, analizar y evaluar críticamente los datos experimentales.

E15: Comprender y dominar el uso de los métodos matemáticos y numéricos más comúnmente utilizados.





### 3. Objetivos

La Física del Estado Sólido es principalmente la física de los sólidos cristalinos, sistemas en los que es posible incidir partiendo de conceptos físicos fundamentales en la relación estructura propiedades. Por esta razón, no es habitual incluir en nuestros programas académicos de esta asignatura los materiales amorfos o los líquidos. El principal objetivo de la Física del Estado Sólido (FES) es explicar las propiedades de los sólidos cristalinos en términos de sus constituyentes a nivel atómico y de las interacciones entre ellos. La mayor parte de las propiedades que se estudian pueden ser potencialmente entendidas en términos de la ecuación de Schrödinger enunciada para un sistema de núcleos atómicos y electrones que interactúan a través de fuerzas electrostáticas. Se puede considerar que hay al menos cuatro aspectos generales, fundamentales en Física del Estado Sólido:

1. La aplicación de los principios de la mecánica cuántica en un sistema de muchas partículas.
2. La simetría de translación.
3. El concepto de excitaciones elementales o excitaciones colectivas del cristal: fonones, electrones, excitones, plasmones, etc.
4. La presencia de imperfecciones, impurezas, vacantes, intersticiales, dislocaciones, etc. que definen el paso del estudio del sólido ideal al sólido real.

La mecánica cuántica constituye la base de nuestro conocimiento de los sólidos, de la misma manera que es la base de nuestro conocimiento de los átomos. En cierto sentido, la FES puede considerarse que suministra un excelente terreno de prueba para consolidar y profundizar los principios y métodos de la mecánica cuántica. En la Física del Estado Sólido la interacción entre teoría y experimento ha jugado y sigue jugando un papel fundamental. Los sistemas bajo estudio siempre son demasiado complicados para entenderlos completamente desde el plano teórico. Una vez que la experiencia ha determinado la naturaleza del fenómeno tiene la teoría la posibilidad de explicarlo. Desde otro punto de vista, muchos experimentos no se pueden interpretar sin una base teórica adecuada. En esta asignatura los estudiantes de Física, mediante el uso de gran parte de los conocimientos que han ido adquiriendo a lo largo de su carrera, se enfrentan a un problema real. Interpretar el comportamiento de los materiales cristalinos en términos de sus constituyentes. Es este un objetivo muy interesante y que en cierto modo es una culminación de los estudios en Física al enfrentar al alumno a una situación real y verificable experimentalmente.

#### Resultados del aprendizaje.



- Dominar la descripción de los sólidos cristalinos en términos de su red y de su base estructural. Conocer cómo se determinan las bandas de energía de un sólido cristalino y cual es su importancia.
- Conocer las propiedades de transporte los sólidos y los modelos que las describen.
- Adquirir los conocimientos relativos a las ondas en la red de un sólido cristalino y manejar con soltura el concepto de fonón.
- Introducirse en los conceptos de interacción entre cuasipartículas.
- Conocer y saber describir los modelos básicos para los fenómenos cooperativos en los sólidos.
- Comprobar como el dominio de diversas disciplinas de la física (termodinámica, mecánica, física cuántica, electromagnetismo) y la aplicación del método científico permite desarrollar modelos teóricos para predecir las propiedades de un sistema complejo como es un sólido cristalino.







#### 4. Tabla de dedicación del estudiante a la asignatura

ACTIVIDADES PRESENCIALES	HORAS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORAS
Clases teórico-prácticas (T/M)	45	Estudio y trabajo autónomo individual	60
Clases prácticas de aula (A)	9	Realización trabajo sistemas de baja dimensión	20
Laboratorios (L)		Búsquedas bibliográficas	10
Prácticas externas, clínicas o de campo			
Seminarios (S)			
Tutorías grupales (TG)	2		
Evaluación	4		
<b>Total presencial</b>	<b>60</b>	<b>Total no presencial</b>	<b>90</b>





## 5. Bloques temáticos

### Bloque Física del Estado Sólido único:

Carga de trabajo en créditos ECTS:

#### a. Contextualización y justificación

Las de la asignatura.

#### b. Objetivos de aprendizaje

Los indicados en el apartado 3 de este documento.

#### c. Contenidos

1. Introducción a la física del estado sólido.
2. La estructura cristalina
  - 2.1. Concepto de estructura cristalina: red y base estructural
  - 2.2. Celdilla primitiva y unidad. Redes de Bravais. Representación matricial
  - 2.3. Notaciones cristalográficas: Índices de Miller
  - 2.4. La red recíproca. Propiedades y Zonas de Brillouin.
  - 2.5. Difracción de Rayos X
3. Niveles electrónicos en un potencial periódico cristalino: teoría de bandas.
  - 3.1. Modelo de electrones libres. Teoría de Sommerfeld. Fallos de este modelo
  - 3.2. Planteamiento cuántico del problema. Funciones de onda monoeléctricas
  - 3.3. Teorema de Bloch
    - 3.3.1. Reducción a la primera zona de Brillouin
    - 3.3.2. Condiciones de contorno: recuento del número de estados
  - 3.4. Electrones en un potencial periódico débil.
  - 3.5. El método de ligaduras fuertes.
  - 3.6. Carácter metálico, aislante o semiconductor de los sólidos.
4. Modelo Semiclásico en las propiedades dinámicas de los electrones
  - 4.1. Ecuaciones semiclásicas para el movimiento de los electrones de conducción.
  - 4.2. Velocidad y masa efectiva de los electrones.
  - 4.4. Huecos: Concepto y utilidad
  - 4.5. Movimiento semiclásico de un electrón en presencia de un campo magnético.
5. Semiconductores
  - 5.1. Dopado de los semiconductores
  - 5.2. Niveles de energía de los átomos de impurezas en un semiconductor
  - 5.3. Densidad de estados electrónicos en semiconductores
  - 5.4. Concentración de portadores en semiconductores intrínsecos y extrínsecos. Nivel de Fermi.
6. Propiedades de transporte





- 6.1. Ecuación de Boltzmann en la teoría semiclásica. Aproximación tiempo de relajación.
- 6.2. Conductividad eléctrica de los metales
- 6.3. Conductividad térmica: Ley de Wiedemann-Franz
- 6.4. Efectos termoeléctricos
- 6.5. Efectos termomagnetoeléctricos: Efecto Hall

7. Fallos en el modelo estático

- 7.1. Introducción
- 7.2. Fallos en las propiedades de equilibrio
- 7.3. Fallos en las propiedades de transporte
- 7.4. Fallos en la interacción radiación-materia

8. Ondas en la red

- 8.1. Introducción
- 8.2. Teoría clásica de las dinámicas de las redes. Aproximación armónica.
- 8.3. Vibraciones en modelos simplificados. Modelos unidimensionales
- 8.4. Modos acústicos y ópticos en redes tridimensionales
- 8.5. El espectro de la red, densidad de estados
- 8.6. Propiedades ópticas en el infrarrojo de cristales iónicos
- 8.7. Cadena monoatómica en mecánica cuántica: el concepto de fonón.
- 8.8. Determinación experimental de las relaciones de dispersión.

9. Propiedades Térmicas de los aislantes

- 9.1. Calor específico reticular.
- 9.2. Modelos aproximados de Einstein y Debye.
- 9.3. Fusión de los sólidos. Criterio de Lindemann
- 9.4. Anarmonicidad: dilatación térmica. El parámetro de Grüneisen
- 9.5. Interacción fonón-fonón
- 9.6. Conductividad térmica en aislantes y semiconductores intrínsecos.

10. Fenómenos cooperativos: Magnetismo y Superconductividad.

- 10.1. Diamagnetismo y Paramagnetismo.
- 10.2 Descripción clásica de los fenómenos cooperativos. Características de los materiales ferromagnéticos, antiferromagnéticos y ferrimagnéticos.
- 10.3 Descripción fenomenológica de la superconductividad. Aspectos experimentales: descubrimiento de la superconductividad. Temperatura crítica, corrientes persistentes, propiedades magnéticas: efecto Meissner. Calor específico. Efecto isotópico. Teoría de London. Generalidades sobre el par de Cooper. Nuevos Materiales Superconductores.

11. Sistemas de baja dimensión.

- 11.1. Estructuras cristalinas en dos dimensiones.
- 11.2. Propiedades electrónicas en dos dimensiones. Efecto Hall cuántico
- 11.3 Magnetismo en una dimensión.

Nota: El tema 5 se imparte en la asignatura de electrónica.

**d. Métodos docentes**

---

- Clase magistral participativa.
- Resolución de problemas y ejercicios.
- Realización de un trabajo sobre sistemas de baja dimensión.



Cada alumno presentará un trabajo por escrito realizado de forma individual sobre el tema "SISTEMAS DE BAJA DIMENSIÓN". El sistema de abajo dimensión a estudiar será elegido por el propio estudiante.

El trabajo debe recoger.

1. La aplicación de la teoría de la FES aprendida durante el curso a sistemas de baja dimensionalidad (0D, 1D, 2D). El alumno elige la dimensión del sistema y aplica la teoría de los sólidos en los siguientes aspectos:
2. Estructura cristalina en sistemas de baja dimensión
3. Electrones en sistemas de baja dimensión
4. Ondas en las red en sistemas de baja dimensión
5. Fenómenos cooperativos en sistemas de baja dimensión.
6. Los fenómenos interesantes predichos por la teoría y si existe verificación experimental para los mismos.
7. Potenciales aplicaciones de los sistemas escogidos

- Tutorías:

- 1) Tutorías conjuntas. Habrá tutorías conjunta al finalizar los temas 6, 9 y 11
- 2) Los alumnos podrán acudir a tutorías individuales siempre que lo necesiten

#### e. Plan de trabajo

---

Se presentará la materia en clases magistrales participativas o de resolución de problemas. Es aconsejable que el alumno prepare la materia con antelación, para ellos se le proporcionarán materiales docentes, ya sea elaborados por el propio profesorado de la asignatura, y de fácil acceso en la red o en la biblioteca.

Una vez realizada la explicación de cada parte teórica y práctica de la asignatura, resolviendo las dudas o cuestiones que puedan surgir, se pedirá al alumno que trabaje sobre una colección de problemas proporcionada por el profesor, que puede ser ampliada con la bibliografía propuesta.

Parte de estos problemas serán resueltos en clase, ilustrando los resultados teóricos y desarrollando las técnicas de resolución propias del desarrollo de la Física del Estado Sólido

Se utilizará el *Campus Virtual* de la Uva para proporcionar los materiales básicos de la asignatura.

Se llevarán a cabo tres tutorías conjuntas con los alumnos al finalizar los temas 6, 9 y 11 que servirán para resolver las dudas principales que puedan haber surgido.

Los alumnos deben llevar a cabo un trabajo individual desarrollando la teoría de los sólidos para un sistema de baja dimensión elegido por ellos mismos. Este trabajo les permitirá desarrollar la teoría de los sólidos por si mismos y será un elemento esencial para que puedan comprender la asignatura a través del desarrollo de la misma para un caso específico.

**f. Evaluación**

Actividades evaluación	Duración aproximada (horas presenciales)	Periodo previsto de desarrollo	Observaciones
Evaluación del trabajo obligatorio sobre sistemas de baja dimensión:  Se valorará la originalidad (no valen copias de textos y/o artículos) (60%)  La calidad del trabajo (30%)  La calidad de la presentación del mismo (10%)	1	Al finalizar el cuatrimestre	El trabajo supone el <b>20%</b> de la calificación
Examen final ordinario	4 horas	Convocatoria Junio 2015	El examen supone el <b>80%</b> de la calificación
Examen final extraordinario	4 horas	Convocatoria Julio: 30 junio-18 julio-2015	El examen supone el <b>80%</b> de la calificación

**g. Bibliografía básica**

- J. R. Hook and H.E. Hall, Solid State Physics, Wiley, 1995
- N. W. Ashcroft, N. D. Mermin. "Solid State Physics", Holt, Rinehart and Winston (1975)
- C. Kittel, "Introducción a la Física del Estado Sólido" Ed. Reverté (1975)



#### **h. Bibliografía complementaria**

---

- J.A. de Saja, M.A. Rodríguez-Pérez, M.L. Rodríguez-Méndez, Materiales: Estructura, Propiedades y aplicaciones, Thomson Paraninfo, 2005

#### **i. Recursos necesarios**

---

El profesor de la asignatura hará accesible a los alumnos el conjunto de materiales y recursos de apoyo que considere adecuado utilizar en la preparación de la asignatura a través de la página web de la Uva (campus virtual) o de la reprografía del centro.



**6. Temporalización (por bloques temáticos)**

BLOQUE TEMÁTICO	CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
Único	6	Septiembre-Enero

**7. Tabla resumen de los instrumentos, procedimientos y sistemas de evaluación/calificación**

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Resolución de exámenes	80%	Véase el apartado f de esta guía.
Realización de un trabajo específico	20%	Véase el apartado f de esta guía.

**8. Consideraciones finales**

A pesar de que no existe un requerimiento administrativo obligatorio en la formalización de la matrícula, el alumno debe tener en cuenta que esta asignatura está académicamente vinculada a la "Técnicas experimentales en Física IV" del mismo curso. Por lo tanto se recomienda al alumno que no se matricule de las técnicas experimentales en física IV sin haberse matriculado de "Física del Estado Sólido".