

**Guía docente de la asignatura**

<b>Asignatura</b>	DISPOSITIVOS OPTOELECTRONICOS		
<b>Materia</b>	ESTRUCTURA DE LA MATERIA		
<b>Módulo</b>			
<b>Titulación</b>	GRADO EN FÍSICAS / PROGRAMA DE ESTUDIOS CONJUNTOS GRADO EN FISICA Y GRADO EN MATEMÁTICAS		
<b>Plan</b>	469	<b>Código</b>	45779
<b>Periodo de impartición</b>	2º CUATRIMESTRE	<b>Tipo/Carácter</b>	OPTATIVA
<b>Nivel/Ciclo</b>	GRADO	<b>Curso</b>	4º / 5º
<b>Créditos ECTS</b>	6 ECTS		
<b>Lengua en que se imparte</b>	CASTELLANO		
<b>Profesor/es responsable/s</b>	IVÁN SANTOS TEJIDO		
<b>Datos de contacto (E-mail, teléfono...)</b>	DESPACHO: 1D046, E.T.S.I. TELECOMUNICACIÓN TELÉFONO: 983 423000 ext. 5512 E-MAIL: <a href="mailto:ivasan@tel.uva.es">ivasan@tel.uva.es</a> WEB: <a href="http://www.ele.uva.es/~ivasan/">http://www.ele.uva.es/~ivasan/</a>		
<b>Horario de tutorías</b>	Ver tutorías en: <a href="http://www.uva.es/export/sites/uva/2_docencia/2.01_grados/2.01.02_ofertaformativagrados/2.01.02.01_alfabetica/Grado-en-Fisica/">http://www.uva.es/export/sites/uva/2_docencia/2.01_grados/2.01.02_ofertaformativagrados/2.01.02.01_alfabetica/Grado-en-Fisica/</a>		
<b>Departamento</b>	ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA		

## 1. Situación / Sentido de la Asignatura

### 1.1 Contextualización

La asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos pertenece a la materia de Estructura de la Materia, y se desarrolla en el cuarto curso del Grado en Física. Las asignaturas de esta materia están orientadas a proporcionar conocimientos relacionados con la síntesis de materiales, sus propiedades, cómo se pueden medir esas propiedades y cuáles son las aplicaciones principales. En el caso de la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos, ésta se centra en la capacidad de ciertos materiales para absorber y emitir luz, y la aplicación de estas características para fabricar dispositivos de interés en Optoelectrónica.

De entre los sectores de actividad laboral donde los físicos pueden desarrollar su actividad indicados por el Libro Blanco del Título de Grado en Físicas, aquellos en los que la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos ofrece contenidos de interés son:

- Docencia universitaria y/o investigación.
- Telecomunicaciones.
- Industria.

En entornos de investigación los dispositivos optoelectrónicos pueden proporcionar radiación electromagnética con las características necesarias para poder estudiar materiales, y también permiten detectar radiación electromagnética y extraer las características de los materiales estudiados. Además, la gran cantidad de materiales semiconductores y el gran control de las técnicas de fabricación de estos dispositivos hacen que sea posible disponer de una amplia gama de dispositivos para cubrir las necesidades más variadas. Desde un punto de vista tecnológico, su uso en el ámbito de las telecomunicaciones para el envío y recepción de información (y en concreto para la comunicación por fibra óptica de altas prestaciones), y en el ámbito de la generación de energía fotovoltaica mediante células solares hacen patente su interés en ámbitos más industriales. De forma más general, los dispositivos optoelectrónicos se utilizan en tareas cotidianas en mandos a distancia, detectores de presencia, iluminación... por lo que resulta muy conveniente tener conocimientos de este tipo de dispositivos en vistas a desempeñar un trabajo más interdisciplinar.

### 1.2 Relación con otras materias

La asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos, al encontrarse en el último curso del grado, es una asignatura que presenta contenidos avanzados y por lo tanto se apoya en conocimientos desarrollados en asignaturas de materias previas del grado:

- La materia de Fundamentos de Física, y en particular la asignatura de formación básica de Fundamentos de Física Cuántica y Estadística del primer curso del grado. En esta asignatura se presentan los conceptos básicos sobre la estadística de Fermi-Dirac y el nivel de Fermi que serán fundamentales para los primeros temas de la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos.
- La materia de Óptica, y en particular la asignatura obligatoria de Óptica del tercer curso del grado. En esta asignatura se desarrollan los fundamentos de la Óptica Geométrica, que serán muy útiles para entender el concepto de confinamiento de luz y los diagramas de emisión de los dispositivos optoelectrónicos.



- La materia de Física Cuántica, y en particular las asignaturas obligatorias de Física Cuántica (del tercer curso del grado) y Mecánica cuántica (del cuarto curso del grado). En ambas asignaturas se desarrollan los conceptos relacionados con la Física Cuántica, de forma más básica en la primera y más avanzada en la segunda. Estos conceptos serán de gran utilidad en los dos primeros temas de la asignatura.
- La materia de Estructura de la Materia, y en particular las asignaturas obligatorias de Física del Estado Sólido y Electrónica, ambas del cuarto curso del grado. Los contenidos desarrollados en estas asignaturas sobre las propiedades electrónicas y ópticas de los materiales en general (Física del Estado Sólido) y de los semiconductores en particular (Electrónica) serán fundamentales para poder entender los contenidos presentados en la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos.

### 1.3 Prerrequisitos

---

Por los motivos expuestos en el apartado anterior es altamente recomendable haber cursado y superado las asignaturas de:

- **Electrónica**, asignatura obligatoria del segundo cuatrimestre del cuarto curso del Grado. El emplazamiento temporal de la asignatura de Electrónica puede implicar que en algunos casos haya alumnos que la cursen al mismo tiempo que la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos. Este hecho se tiene en cuenta a la hora de exponer los contenidos de la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos. En concreto, los conceptos relacionados con el principio de funcionamiento del diodo, que en la Electrónica se presenta al comienzo de la asignatura y en Dispositivos Electrónicos con posterioridad.
- **Física del Estado Sólido**, asignatura obligatoria del primer cuatrimestre del cuarto curso del Grado.
- **Mecánica Cuántica**, asignatura obligatoria del primer cuatrimestre del cuarto curso del Grado.
- **Óptica**, asignatura obligatoria anual del tercer curso del Grado.

## 2. Competencias

### 2.1 Transversales

- 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 al campo de la Optoelectrónica.
- E2: Ser capaz de presentar un tema académico o una investigación propia tanto a profesionales como a público en general.
- 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 órdenes 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.
- 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.
- E10: Ser capaz de mantenerse informado de los nuevos desarrollos en Optoelectrónica.
- E11: Adquirir familiaridad con las fronteras de la investigación en el campo de la Optoelectrónica.
- 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 del campo de la Optoelectrónica.
- E14: Haberse familiarizado con los modelos experimentales más importantes que describen el funcionamiento de los dispositivos optoelectrónicos, 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

Al finalizar la asignatura el alumno deberá ser capaz de:

1. Conocer las propiedades ópticas de los semiconductores y las características de los distintos tipos de familias que existen.
2. Comprender el principio de funcionamiento de los principales dispositivos optoelectrónicos.
3. Comprender las características de funcionamiento relevantes de los dispositivos optoelectrónicos y su relación con la tecnología de fabricación.
4. Aplicar modelos sencillos al funcionamiento de los dispositivos optoelectrónicos y hacer cálculos y estimaciones numéricas de los parámetros relevantes.
5. Analizar las hojas de especificaciones de dispositivos reales, relacionando la información de éstas con los conocimientos vistos en teoría, extrayendo datos implícitos y efectuando una valoración del dispositivo.
6. Adquirir una visión representativa de algunas de las principales tendencias de innovación tecnológica en optoelectrónica.

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

Los contenidos y profundidad de la materia se diseñan para que el alumno invierta un total de 6 ECTS, que en total resultan unas 150 horas con la intención de que el esfuerzo se realice de la forma más uniforme posible a lo largo del cuatrimestre. En las directrices de la Universidad de Valladolid y la Memoria de Verificación del Grado de Físicas, se establece una composición del 40 por ciento de presencialidad de dichas horas lo que redunda en 60 horas de actividad presencial que se desglosan de la siguiente forma:

ACTIVIDADES PRESENCIALES	HORAS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORAS
Clases teóricas	30	Estudio y trabajo autónomo individual	60
Clases prácticas	28	Estudio y trabajo autónomo grupal	20
Laboratorios	0	Realización de ejercicios propuestos	10
Prácticas externas, clínicas o de campo	0		
Seminarios	0		
Otras actividades	2		
<b>Total presencial</b>	<b>60</b>	<b>Total no presencial</b>	<b>90</b>



## 5. Bloques temáticos

### Bloque 1: Introducción: propiedades básicas y ópticas de los semiconductores

Carga de trabajo en créditos ECTS: 

#### a. Contextualización y justificación

Este bloque es un bloque introductorio que abarca los dos primeros temas de la asignatura. En él se recuerda a los alumnos conceptos que han visto en asignaturas previas y se les introducen otros de especial relevancia para poder desarrollar los contenidos de la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos.

#### b. Objetivos de aprendizaje

Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de conocer las propiedades ópticas de los semiconductores y las características de los distintos tipos de familias que existen.

#### c. Contenidos

##### TEMA 1 – PROPIEDADES BÁSICAS DE LOS SEMICONDUCTORES

- 1.1.- Motivación.
- 1.2.- Propiedades básicas de la luz.
- 1.3.- Estructura de bandas de los semiconductores.
- 1.4.- Familias de semiconductores.
- 1.5.- Estadística de portadores.
- 1.6.- Dopantes y concentración de portadores.
- 1.7.- Fenómenos de generación y recombinación.
- 1.8.- Eficiencia de recombinación radiativa.
- 1.9.- Heteroestructuras.

##### TEMA 2 – PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS SEMICONDUCTORES

- 2.1.- Transiciones ópticas banda a banda.
- 2.2.- Absorción de luz.
- 2.3.- Emisión espontánea y estimulada.
- 2.4.- Ganancia neta en semiconductores.
- 2.5.- Índice de refracción.
- 2.6.- Modificación de las propiedades ópticas con la temperatura y con las inhomogeneidades.
- 2.7.- Propiedades ópticas de las heteroestructuras.

#### d. Métodos docentes

Se empleará:

- Clase magistral participativa.
- Clases de problemas tutelados.
- Resolución autónoma de problemas que se entregarán para ser evaluados.

Para más detalles consultar apartado 8.b del presente documento.

---

**e. Plan de trabajo**

---

Ver apartado 6 del presente documento.

---

**f. Evaluación**

---

Los contenidos de este bloque se evaluarán mediante una prueba escrita (ver apartado 7 del presente documento) y la entrega de problemas.

---

**g. Bibliografía**

---

Ver el apartado 8.c del presente documento.

---

**h. Recursos necesarios**

---

Ver el apartado 8.a del presente documento.

---

**Bloque 2: Diodos emisores de luz (LEDs)**

---

Carga de trabajo en créditos ECTS:

---

**a. Contextualización y justificación**

---

Este bloque se dedica a desarrollar los contenidos relacionados con los diodos emisores de luz (LEDs). Primeramente se presenta un tema donde se describe de forma general su principio de funcionamiento y características, para después analizar en un tema posterior dispositivos LEDs específicos y sus principales aplicaciones.

---

**b. Objetivos de aprendizaje**

---

Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de:

- Comprender el principio de funcionamiento de los LEDs.
- Comprender las características de funcionamiento relevantes de los LEDs y su relación con la tecnología de fabricación.
- Aplicar modelos sencillos al funcionamiento de los LEDs y hacer cálculos y estimaciones numéricas de sus parámetros relevantes.
- Analizar las hojas de especificaciones de LEDs reales, relacionando la información de éstas con los conocimientos vistos en teoría, extrayendo datos implícitos y efectuando una valoración del dispositivo.
- Adquirir una visión representativa de algunas de las principales tendencias de innovación tecnológica en LEDs.

---

**c. Contenidos**

---

**TEMA 3 – DIODOS EMISORES DE LUZ (LEDs)**

- 3.1.- Luminiscencia por inyección de portadores en uniones p-n.
- 3.2.- Respuesta espectral.
- 3.3.- Eficiencia de emisión.



- 3.4.- Características I-V y P-I.
- 3.5.- Respuesta angular.
- 3.6.- Unidades fotométricas.
- 3.7.- Fiabilidad y parámetros térmicos.
- 3.8.- Respuesta en frecuencia.
- 3.9.- Polarización del LED.

#### **TEMA 4 – LEDs ESPECÍFICOS: ESTRUCTURA, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES**

- 4.1.- IREDs de GaAs,
- 4.2.- IREDs de AlGaAs.
- 4.3.- LEDs en el visible de de GaP y de AlGaAs.
- 4.4.- LEDs de AlGaInP.
- 4.5.- LEDs de nitruros.
- 4.6.- Carta cromática y LEDs blancos.

#### **d. Métodos docentes**

---

Se empleará:

- Clase magistral participativa.
- Clases de problemas tutelados.
- Resolución autónoma de problemas que se entregarán para ser evaluados.
- Análisis de hojas de especificaciones de dispositivos reales.

Para más detalles consultar apartado 8.b del presente documento.

#### **e. Plan de trabajo**

---

Ver apartado 6 del presente documento.

#### **f. Evaluación**

---

Los contenidos de este bloque se evaluarán mediante una prueba escrita (ver apartado 7 del presente documento) y la entrega de problemas.

#### **g. Bibliografía**

---

Ver el apartado 8.c del presente documento.

#### **h. Recursos necesarios**

---

Ver el apartado 8.a del presente documento.



**Bloque 3: Diodos láser (LDs)**Carga de trabajo en créditos ECTS: 

2.2
-----

**a. Contextualización y justificación**

El tercer bloque de la asignatura se empleará para presentar los conceptos relacionados con los diodos láser (LDs). Se seguirá una estructura igual a la del bloque 2: primero describe de forma general su principio de funcionamiento y características, y después se estudian LDs específicos y sus aplicaciones.

**b. Objetivos de aprendizaje**

Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de:

- Comprender el principio de funcionamiento de los LDs.
- Comprender las características de funcionamiento relevantes de los LDs y su relación con la tecnología de fabricación.
- Aplicar modelos sencillos al funcionamiento de los LDs y hacer cálculos y estimaciones numéricas de sus parámetros relevantes.
- Analizar las hojas de especificaciones de LDs reales, relacionando la información de éstas con los conocimientos vistos en teoría, extrayendo datos implícitos y efectuando una valoración del dispositivo.
- Adquirir una visión representativa de algunas de las principales tendencias de innovación tecnológica en LDs.

**c. Contenidos****TEMA 5 – DIODOS LÁSER (LD)**

- 5.1.- Inversión de población en uniones p-n.
- 5.2.- Cavidades ópticas.
- 5.3.- Condición de oscilación en los LDs.
- 5.4.- Características P-I, corriente umbral y parámetros de eficiencia.
- 5.5.- Láseres de confinamiento separado y de pozo cuántico.
- 5.7.- Distribución espectral de los LDs.
- 5.8.- Confinamiento lateral.
- 5.9.- Características del haz.
- 5.10.- Láseres monomodo.
- 5.11.- Respuesta en frecuencia: análisis cualitativo.

**TEMA 6 – LDs ESPECÍFICOS: ESTRUCTURA, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES**

- 6.1.- LDs de AlGaAs de baja potencia.
- 6.2.- LDs en el visible.
- 6.3.- LDs para la 2ª y 3ª ventana, estabilización y ajuste de longitud de onda.
- 6.4.- LDs de alta potencia.
- 6.5.- LDs de emisión por superficie.

---

**d. Métodos docentes**

---

Se empleará:

- Clase magistral participativa.
- Clases de problemas tutelados.
- Resolución autónoma de problemas que se entregarán para ser evaluados.
- Análisis de hojas de especificaciones de dispositivos reales.

Para más detalles consultar apartado 8.b del presente documento.

---

**e. Plan de trabajo**

---

Ver apartado 6 del presente documento.

---

**f. Evaluación**

---

Los contenidos de este bloque se evaluarán mediante una prueba escrita (ver apartado 7 del presente documento) y la entrega de problemas.

---

**g. Bibliografía**

---

Ver el apartado 8.c del presente documento.

---

**h. Recursos necesarios**

---

Ver el apartado 8.a del presente documento.

---

**Bloque 4: Fotodiodos**

---

Carga de trabajo en créditos ECTS:

---

**a. Contextualización y justificación**

---

El cuarto bloque de la asignatura se dedicará a estudiar dispositivos optoelectrónicos que absorben luz, en particular los fotodiodos y las células solares. Al igual que en bloques anteriores, primero se describe de forma general su principio de funcionamiento y características, y después se estudian dispositivos específicos y sus aplicaciones.

---

**b. Objetivos de aprendizaje**

---

Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de:

- Comprender el principio de funcionamiento de los fotodiodos y células solares.
- Comprender las características de funcionamiento relevantes de estos dispositivos y su relación con la tecnología de fabricación.
- Aplicar modelos sencillos a su funcionamiento y hacer cálculos y estimaciones numéricas de sus parámetros relevantes.



- Analizar las hojas de especificaciones de dispositivos reales, relacionando la información de éstas con los conocimientos vistos en teoría, extrayendo datos implícitos y efectuando una valoración del dispositivo.
- Adquirir una visión representativa de algunas de las principales tendencias de innovación tecnológica en fotodiodos y células solares.

### c. Contenidos

---

#### TEMA 7 – FOTODIODOS (PDs)

- 7.1.- Motivación.
- 7.2.- Principio de funcionamiento y estructura de los fotodiodos.
- 7.3.- Células solares.
- 7.4.- Eficiencia y respuesta espectral.
- 7.5.- Características eléctricas.
- 7.6.- Circuitos básicos con fotodiodos.
- 7.7.- Respuesta en frecuencia.

### d. Métodos docentes

---

Se empleará:

- Clase magistral participativa.
- Clases de problemas tutelados.
- Resolución autónoma de problemas que se entregarán para ser evaluados.
- Análisis de hojas de especificaciones de dispositivos reales.

Para más detalles consultar apartado 8.b del presente documento.

### e. Plan de trabajo

---

Ver apartado 6 del presente documento.

### f. Evaluación

---

Los contenidos de este bloque se evaluarán mediante una prueba escrita (ver apartado 7 del presente documento) y la entrega de problemas.

### g. Bibliografía

---

Ver el apartado 8.c del presente documento.

### h. Recursos necesarios

---

Ver el apartado 8.a del presente documento.

## 6. Temporalización

**Atención:** La temporalización que aquí se presenta es una planificación orientativa de la asignatura. Si bien el objetivo es seguir lo más fielmente posible dicha planificación, no debe entenderse como algo totalmente cerrado e inflexible, sino que puede modificarse y adaptarse si las circunstancias así lo requieren.

Se dejará en el Campus Virtual el calendario detallado con los días de cada actividad.

### Sesiones de aula:

Actividades de aula	Duración aproximada (horas presenciales)	Periodo previsto de desarrollo
Presentación	0.5 horas	Semana 1
<b>Bloque 1: Introducción: propiedades básicas y ópticas de los semiconductores</b>		
Tema 1 – Propiedades básicas de los semiconductores	10.5 horas	Semanas 1 a 3
Tema 2 – Propiedades ópticas de los semiconductores	7 horas	Semanas 3 a 5
<b>Bloque 2: Diodos emisores de luz (LEDs)</b>		
Tema 3 – LEDs	6 horas	Semanas 5 a 7
Tema 4 – LEDs específicos: estructura, características y aplicaciones	8 horas	Semanas 7 a 9
<b>Bloque 3: Diodos láser (LDs)</b>		
Tema 5 – LDs	12 horas	Semanas 9 a 12
Tema 6 – LDs específicos: estructura, características y aplicaciones	10 horas	Semanas 12 a 14
<b>Bloque 4: Fotodiodos</b>		
Tema 7 – Fotodiodos	4 horas	Semana 15

### Pruebas parcial escrita

- Se realizará la prueba parcial escrita al finalizar el Bloque 2, hacia la semana 10. La fecha concreta de esta prueba se fijará durante el curso.
- Tendrá una duración de 2 horas

## 7. Criterios de evaluación

En **CONVOCATORIA ORDINARIA** se calificará a cualquier alumno que se presente a cualquiera de los procedimientos de la tabla, es decir, sólo obtendrán la calificación de “No Presentado” los alumnos que no participen de ninguno de ellos.

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Pruebas escritas	60%	Se evaluarán por separado los contenidos de los bloques 1 y 2, y los contenidos de los bloques 3 y 4. La puntuación final es la media geométrica de las obtenidas: $Nota_{Final} = \sqrt{Nota_{1-2} \cdot Nota_{3-4}}$ Es condición necesaria para superar la asignatura alcanzar una calificación igual o superior a 4.5 puntos sobre 10 en la nota final de las pruebas escritas.
Entrega de problemas durante el desarrollo de la asignatura	40%	No hay nota mínima.

La puntuación final de la convocatoria ordinaria será la media aritmética de los procedimientos indicados en la tabla anterior con la ponderación mostrada. Es condición necesaria para aprobar la asignatura en convocatoria ordinaria obtener una calificación final de 5.0 sobre 10.0.

### PRUEBAS ESCRITAS

Consistirán en una serie de cuestiones breves teórico-prácticas y problemas para aplicar de forma práctica los conceptos teóricos adquiridos durante la asignatura sobre planteamientos concretos similares a los desarrollados durante las clases de problemas. En los enunciados se indicará la calificación asociada a cada uno de los ejercicios que constituyen las pruebas. Durante la realización de la prueba escrita no se permitirá utilizar ni apuntes ni libros. Asimismo la presencia de cualquier dispositivo electrónico diferente de calculadoras no programables (calculadoras programables, teléfonos móviles, smartwatches, ordenadores, etc.) implicará la retirada del ejercicio y se considerará la prueba suspensa (calificación de 0).

Habrán dos pruebas escritas, una parcial a mitad de la asignatura y una final.

- La prueba parcial incluirá los contenidos desarrollados en los bloques 1 y 2. Se realizará al poco de concluirse el bloque 2 hacia la semana 10 (ver apartado 6 de la guía docente). La fecha concreta de esta prueba se decidirá conjuntamente con los alumnos. La nota obtenida se utilizará para calcular la nota final de las pruebas escritas, es decir, esta prueba parcial escrita elimina materia de cara a la prueba final.
- La prueba final coincidirá con la fecha del examen final fijada por la correspondiente comisión del grado. Tendrá dos partes:
  - la primera parte incluye los mismos contenidos de la prueba parcial (bloques 1 y 2),
  - la segunda parte los contenidos de los bloques 3 y 4.

Los alumnos podrán decidir a qué parte o partes se presentan. Si un alumno se vuelve a examinar de la primera parte de la asignatura (bloques 1 y 2), renunciará de forma automática a la nota que obtuvo previamente en la prueba parcial.





Es condición necesaria para superar la asignatura en convocatoria ordinaria obtener una nota final en las pruebas escritas de al menos 4.5 sobre 10.0.

Aquellos alumnos que solo se presenten a una de las pruebas que evalúa cada mitad de la asignatura, obtendrán como nota final de la asignatura la mitad de la calificación obtenida en la parte a la que se presentaron (no se tendrá en cuenta la nota de los ejercicios entregados). En este caso deberán acudir a la convocatoria extraordinaria para examinarse de la parte no presentada. Si la nota de la parte examinada estuviera entre 9 y 10 sobre 10, se les asignará un 4.5 en la nota final de la asignatura.

Quienes en convocatoria ordinaria no alcancen la calificación mínima en las pruebas escritas (superior a 4.5 puntos sobre 10), obtendrán como calificación final de la asignatura la obtenida en las pruebas escritas ponderada sobre 10. Estos alumnos podrán presentarse de nuevo en la convocatoria extraordinaria a la prueba escrita de la parte o partes que necesiten y se les mantendrá la calificación obtenida en los problemas entregados.

#### ENTREGA DE PROBLEMAS

Durante algunas de las sesiones de aula, tanto de teoría como de problemas, se propondrá a los alumnos un problema breve o algunas cuestiones a resolver en el momento o para entregar en la siguiente clase. Cada uno de estos ejercicios se puntuará sobre 10, y el promedio de las notas obtenidas constituirá la nota a considerar en el apartado de entrega de problemas.

Aquellos alumnos que decidan no entregar los problemas serán evaluados teniendo en cuenta únicamente nota de las pruebas escritas (media geométrica de la nota de las pruebas escritas que evalúan cada bloque), que constituirá el 100% de su nota final. En este caso será necesaria una nota final en las pruebas escritas de al menos 5.0 sobre 10.0 para superar la asignatura.

La **CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA** consistirá en una prueba escrita global sobre los contenidos desarrollados en la asignatura. Tendrá dos partes al igual que la prueba final escrita de la convocatoria ordinaria, la primera evalúa los bloques 1 y 2, y la segunda los bloques 3 y 4. Los alumnos se tendrán que examinar de una parte o de las dos en función de los resultados obtenidos en las pruebas escritas realizadas durante el desarrollo de la asignatura. La puntuación final de la prueba escrita será la media geométrica de las obtenidas en las partes en las que se divide.

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO CONV. EXTRAORDINARIA	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Prueba escrita	60%	Tendrá dos partes, la primera evalúa los bloques 1 y 2, y la segunda los bloques 3 y 4. La puntuación final será la media geométrica de las obtenidas en partes: $Nota_{Final} = \sqrt{Nota_{1-2} \times Nota_{3-4}}$ Es condición necesaria para superar la asignatura alcanzar una calificación igual o superior a 4.5 puntos sobre 10 en la nota final de la prueba escrita.
Entrega de problemas	40%	Se mantiene la nota obtenida en la convocatoria ordinaria. No hay nota mínima.



Es condición necesaria para aprobar la asignatura en convocatoria extraordinaria obtener una calificación final de 5.0 sobre 10.0.

Además, para superar la asignatura en convocatoria extraordinaria será necesario obtener una nota final en las pruebas escritas de al menos 4.5 sobre 10.0.

Aquellos alumnos que únicamente tengan calificación en una de las partes, obtendrán como nota final de la asignatura la mitad de la calificación que tengan. Si la nota de la parte calificada estuviera entre 9 y 10 sobre 10, se les asignará un 4.5 en la nota final de la asignatura. Quienes en convocatoria extraordinaria no alcancen la calificación mínima en las pruebas escritas, obtendrán como calificación final de la asignatura la obtenida en las pruebas escritas ponderada sobre 10.

En ningún caso se conservarán las calificaciones de alguno de los procedimientos anteriores si alumno vuelva a cursar la asignatura.



## 8. Consideraciones finales

### a. Recursos necesarios

El material docente que se vaya a utilizar en las clases de teoría (transparencias de los temas) y en las clases de problemas (enunciados de problemas) estará disponible con suficiente antelación a través del Campus Virtual de la UVa (<http://campusvirtual.uva.es/>).

En el Campus Virtual también se pondrá a disposición del alumno una serie de enlaces a diferentes páginas web donde podrá consultar entre otras cosas las propiedades de los principales materiales semiconductores, diferentes parámetros relacionados con la respuesta fotométrica del ojo, hojas de especificaciones de dispositivos optoelectrónicos de los principales fabricantes, así como otros recursos de consulta voluntaria para el alumno que profundicen en algunos de los conceptos desarrollados durante la asignatura.

### b. Métodos docentes

#### Clases de teoría

Las clases de teoría se desarrollarán a través de lección magistral para presentar a los alumnos de manera ordenada y sistemática los contenidos teóricos de la asignatura.

Consistirán en clases participativas que se desarrollarán en el aula mediante transparencias. En las transparencias aparecerán de forma esquemática los conceptos utilizados para la exposición teórica: desarrollos teóricos, esquemas de dispositivos, ejemplos, etc. así como las principales definiciones y conclusiones. Todo este material estará disponible a los alumnos con suficiente antelación. Con las transparencias se pretende que el alumno disponga de una guía esquemática de los conceptos desarrollados en los temas de la asignatura que les permitan seguir más fácilmente la exposición teórica y prestar mayor atención a los comentarios, discusiones y aclaraciones que puedan tener lugar durante ella. Sin embargo, este material es solo una guía y necesitará ser ampliado con la consulta a los libros de la bibliografía u otros que el alumno considere apropiados.

Excepcionalmente algunos de los apartados del temario podrán ser asignados para que grupos de alumnos los desarrollen y los expongan al resto de la clase. De igual manera también cabe la posibilidad de que algunos de los conceptos sean explicados en clases de problemas con ejemplos concretos para una mejor comprensión.

#### Clases de problemas

Al concluir cada uno de los temas en los que se divide la asignatura se realizarán problemas en el aula para ejemplificar con casos concretos los conceptos desarrollados en las clases de teoría. En ocasiones extraordinarias algunos de los conceptos teóricos podrán desarrollarse en las clases de problemas.

Cada problema se iniciará con una discusión previa en la que se pedirá a los alumnos que sugieran posibles estrategias de resolución. En esta discusión se intentará mostrar al alumno cómo relacionar la información que se proporciona en los enunciados con los conocimientos que ya posee para encontrar la solución al problema. Posteriormente se resolverán en la pizarra por el profesor. Al alumno se le facilitarán los enunciados de los problemas con suficiente antelación para que pueda intentar resolverlos por sus propios medios. Adicionalmente se le proporcionarán problemas complementarios o incluidos en exámenes de años



anteriores para que pueda ejercitarse en la realización de problemas para afianzar los conocimientos adquiridos.

Durante algunas de las sesiones de problemas se propondrá a los alumnos un problema breve o algunas cuestiones que deberán realizar individualmente en clase y entregar al profesor. La resolución de estos ejercicios ayudará al profesor a detectar los conceptos y explicaciones que no han sido adquiridos correctamente por los alumnos, y le permiten incidir sobre ellos antes del examen final. Además, motivan al alumno para estudiar la asignatura de forma continua, y le permiten conocer con suficiente antelación a la prueba final qué conceptos no tiene suficientemente claros y debe trabajar más.

### **Pruebas parcial escrita**

Una vez finalizado el bloque 2 se realizará una prueba parcial escrita voluntaria. Si el alumno supera esta prueba queda exento de volverse a examinar de los contenidos incluidos en esta prueba. De esta forma se fomenta que se lleve la asignatura al día para poder reducir los contenidos de cara a la prueba final escrita de la asignatura.

### **Tutorías voluntarias**

Al margen del horario lectivo el alumno podrá disponer de 6 horas semanales para tutorías voluntarias individualizadas. Estas tutorías están destinadas a que el profesor resuelva las posibles dudas que tengan los alumnos, a orientarlos bibliográficamente y a asesorarles en los posibles trabajos y exposiciones que tengan que realizar.

También se podrá utilizar el correo electrónico para resolver dudas cuando estas sean conceptualmente sencillas.





### c. Bibliografía

A continuación se detalla la bibliografía básica y complementaria de la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos. La mayoría de los recursos bibliográficos que se recomiendan están incluidos en el catálogo Almena de la Universidad de Valladolid ([www.almena.uva.es](http://www.almena.uva.es)). Se indican sus referencias en la biblioteca y el enlace para consultar su disponibilidad online.

#### Bibliografía básica:

- Bahaa E. A. Saleh, Malvin Carl Teich, "Fundamentals of photonics", John Wiley & Sons, 1991.  
(621.383 SAL fun, [Ed. 1991](#), [Ed. 2007](#))
- Hans P. Zappe, "Introduction to Semiconductor Integrated Optics", Artech House, 1995.  
([621.382-Zap.Int](#))
- Keigo Iizuka, "Elements of Photonics. Volume II: For Fiber and Integrated Optics", John Wiley & Sons, 2002.
- S. M. Sze, "Semiconductor devices: physics and technology", John Wiley & Sons, 2002.  
([621.382 SZE sem - Ed. 1985](#), [621.382 SZE sem - Ed. 2002](#), [621.382 SZE sem - Ed. 2013](#))
- S. M. Sze, "Physics of semiconductor devices", John Wiley & Sons, 2007.  
(621.382-Sze.Phy, [Ed. 1981](#), [Ed. 2007](#))

#### Bibliografía complementaria:

##### NIVEL BÁSICO

- Robert F. Pierret, "Fundamentos de semiconductores", Addison-Wesley Iberoamericana, 1994.  
([Español - 621.382-Pie.Fun](#), [Inglés - 621.382-Pie.Sem](#))
- John Wilson, John Hawkes, "Optoelectronics: an introduction", Prentice-Hall, 1998.  
([621.383 WIL opt](#))
- Jeff Hecht, "Understanding Lasers: An Entry-Level Guide", Wiley-IEEE Press, 2008.  
([535.2 HEC und](#))

##### NIVEL AVANZADO

- Robert F. Pierret, "Advanced semiconductor fundamentals", Addison-Wesley Iberoamericana, 1989.  
([621.382 PIE adv](#))
- Shun Lien Chuang, "Physics of Optoelectronic Devices", John Wiley & Sons, 1995.  
([C/EI 1997-C](#))
- Joachim Piprek, "Semiconductor optoelectronic devices: introduction to physics and simulation", Academic Press, 2003.
- E. Freud Schubert, "Light-Emitting Diodes", Cambridge University Press, 2003.  
([C/F3\\*15158391](#))
- Takahiro Numai, "Laser Diodes and their Applications to Communications and Information Processing", Wiley Online Books, 2010.
- K. Dutta, N. K. Dutta, M. Fujiwara, "WDM Technologies. Active Optical Components", Academic Press, 2002.



**Comentarios sobre algunos libros de la bibliografía:**Bahaa E.A. Saleh, Malvin Carl Teich, "Fundamentals of photonics", John Wiley & Sons, 2007

Es el libro básico para la parte más conceptual de la asignatura. En él se pueden encontrar los desarrollos teóricos completos de las expresiones utilizadas en las clases de aula. Además, la estructura del libro está planteada para poder utilizarlo de forma autodidacta ya posee una guía que resalta los capítulos que han de ser consultados en función de los intereses del lector (procesado óptico de la información, óptica de las guías de ondas, comunicaciones por fibra óptica, optoelectrónica, láseres...). Cada capítulo contiene resúmenes, conjuntos de ejercicios, y listas de lecturas recomendadas para profundizar en algunos conceptos. Sin embargo, no trata apenas de dispositivos específicos ni de aplicaciones.

En el caso concreto de la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos, los temas de interés son los que en la introducción son agrupados dentro de las categorías de "Optoelectronics", y "Laser", aunque también se tratan algunos conceptos de la categoría de "Fiber-Optic Communications" al hablar de LDs para comunicaciones ópticas.

Hans P. Zappe, "Introduction to Semiconductor Integrated Optics", Artech House, 1995

También es un libro básico muy útil donde encontrar de forma detallada los conceptos fundamentales de la física de los materiales de interés en optoelectrónica, y el principio de funcionamiento de los dispositivos optoelectrónicos estudiados en la asignatura (a excepción de las células solares). Al igual que en el caso anterior, tampoco abarca ni dispositivos específicos ni aplicaciones.

Los temas 2, 3 y 4 presentan las propiedades básicas y ópticas de los semiconductores, así como las principales familias de interés en optoelectrónica. El tema 5 está dedicado a las técnicas utilizadas para fabricar dispositivos optoelectrónicos. Aunque estos contenidos no se abordan en la asignatura, puede ser consultado en caso de interés. Los temas 6, 7 y 8 tratan temas de especial interés en comunicaciones ópticas, como guías de ondas, que quedan fuera del planteamiento actual de la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos. A partir del tema 9 se presentan los principios de funcionamiento de los láseres y LEDs (tema 9), y de los fotodetectores (tema 10), así como los moduladores de haces (tema 11).

Keigo Iizuka, "Elements of Photonics. Volume II: For Fiber and Integrated Optics", John Wiley & Sons, 2002.

Este libro no se encuentra disponible de momento en la biblioteca de la Universidad de Valladolid. Es un libro muy completo que abarca desde los fundamentos físicos de los dispositivos optoelectrónicos, hasta dispositivos y estructuras específicas para determinadas aplicaciones. En concreto el tema 14 expone de forma muy detallada todo lo relacionado con los láseres (principio de funcionamiento, características del haz, láseres monomodo, dependencia térmica de las características del láser, pozos cuánticos...). El capítulo 12 contiene un apartado donde se explican las características de los Fotodiodos y su uso para detectar luz. Y el capítulo 16 presenta las aplicaciones de los dispositivos optoelectrónicos en comunicaciones ópticas. Además en el libro se incluyen muchos más contenidos de los desarrollados en la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos, por lo que puede ser utilizado por el alumno para ampliar sus conocimientos.

S. M. Sze, "Semiconductor devices: physics and technology", John Wiley & Sons, 2002.

Este es un libro fundamental para abordar todo lo relativo a la física de los dispositivos semiconductores. Los contenidos que abarca este libro se suponen ya conocidos por el alumno, por lo que se puede considerar un libro de repaso. Sin embargo, algunos de sus temas pueden ayudar a comprender mejor los contenidos presentados en la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos. Por ejemplo, los capítulos 1 y 2 desarrollan la Física de los



Semiconductores (dopado, estadística de portadores, arrastre y difusión de portadores...), que pueden ayudar en el primer tema de la asignatura. En el capítulo 4 se estudia la unión p-n, cuya comprensión es necesaria para abordar el estudio de los LEDs. En el capítulo 5 se dedica a explicar los dispositivos Fotónicos (LEDs, láseres, fotodetectores y celdas solares). Este capítulo resume los principales conceptos que se desarrollarán en la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos. Cabe también destacar que los últimos capítulos del libro están dedicados a la tecnología de fabricación de dispositivos semiconductores. El alumno puede utilizar estos temas para ampliar sus conocimientos en estos aspectos que no son tratados en la asignatura.

Robert F. Pierret, "Fundamentos de semiconductores", Addison-Wesley Iberoamericana, 1994.

Aunque el nivel de este libro está por debajo del de la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos, es un libro muy adecuado para repasar los conceptos fundamentales de la Física de los Semiconductores. Presenta de una forma bastante comprensible los conceptos de dopado de semiconductores, la estadística de los portadores, y los fenómenos de arrastre y difusión de portadores. También contiene ejercicios resueltos y propuestos, y numerosos ejemplos numéricos.

John Wilson, John Hawkes, "Optoelectronics: an introduction", Prentice-Hall, 1998.

Este libro también cubre los principios de funcionamiento de los dispositivos estudiados durante la asignatura. Los tres primeros capítulos introducen los principales conceptos que se utilizarán en la asignatura. El capítulo 4 posee un apartado que se dedica a explicar el principio de funcionamiento de los LEDs. El capítulo 5 está dedicado a los láseres de forma genérica, aunque hay un par de apartados que se centran en los láseres semiconductores. El capítulo 6 se centra en la caracterización y estabilización del haz de salida de los láseres. El capítulo 7 se dedica a los fotodetectores, incluidos los semiconductores. También posee un apartado dedicado a las celdas solares. Sin embargo, en este caso tampoco se presentan dispositivos específicos.

Jeff Hecht, "Understanding Lasers: An Entry-Level Guide", John Wiley & Sons - IEEE Press, 2008.

Este libro está dedicado íntegramente a los láseres en general, desde su principio de funcionamiento, hasta las diferentes aplicaciones. Los capítulos de interés para la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos son el 8 y el 9, donde se describen los láseres de estado sólido. Además, el capítulo 11 está dedicado a aplicaciones de láseres de baja potencia, mientras que en el 12 se analizan las aplicaciones de láseres de alta potencia. También es de destacar que el capítulo 13 está dedicado a describir los usos y aplicaciones de los láseres en diversos campos de investigación.

Jasprit Singh, "Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures", Cambridge University Press, 2003

Libro especialmente indicado para los dos primeros temas de la asignatura, incluyendo los desarrollos de las expresiones vistas en la asignatura. El capítulo 1 describe las propiedades estructurales de los semiconductores, desde las técnicas de crecimiento de cristales y heteroestructuras hasta los aspectos básicos de la estructura cristalina. El capítulo 2 se dedica a la descripción teórica de la estructura de bandas de los semiconductores, y al dopado; y en el capítulo 3 se analizan las modificaciones de la estructura de bandas en las heteroestructuras concretas de las diferentes familias de semiconductores. Las propiedades ópticas de los semiconductores se describen en el capítulo 9. También se abordan otros aspectos que quedan fuera del ámbito de la asignatura. Un aspecto a destacar del libro es los esquemas que incluye relacionando las propiedades microscópicas de los materiales con las consecuencias en las características macroscópicas de los dispositivos fabricados.

Shun Lien Chuang, "Physics of Optoelectronic Devices", John Wiley & Sons, 1995.

Este libro aborda los conceptos fundamentales de la asignatura con una formulación semejante a la utilizada en las asignaturas de Física del Estado Sólido y Mecánica Cuántica. Puede ser utilizado para profundizar de forma más rigurosa en la teoría que describe los procesos físicos que se abordan en la asignatura. Además, al final de cada capítulo ofrece una selección bibliográfica de libros y artículos de revistas científicas donde encontrar más información sobre los conceptos desarrollados. Sin embargo su enfoque más teórico hace que no trate ni dispositivos específicos ni aplicaciones tecnológicas.

Joachim Piprek, "Semiconductor optoelectronic devices: introduction to physics and simulation", Academic Press, 2003.

Este libro puede ser conseguido a través de la Universidad de Valladolid. Describe los fundamentos de los dispositivos optoelectrónicos desde el punto de vista de la Física del Estado Sólido. Lo interesante de este libro es que presenta diferentes modelos que permiten describir distintos parámetros y características de los dispositivos optoelectrónicos. Estos modelos pueden ser interesantes para que el alumno identifique lo relevante de cada dispositivo estudiado, y qué aproximaciones pueden usarse para modelar su comportamiento.

E. Freud Schubert, "Light-Emitting Diodes", Cambridge University Press, 2003.

Este libro está dedicado únicamente a los diodos emisores de luz, y abarca desde sus propiedades fundamentales hasta dispositivos específicos y aplicaciones. En los primeros capítulos presenta la teoría necesaria para comprender los procesos de recombinación radiativa de portadores en semiconductores. En los capítulos sucesivos trata de forma detallada todos los aspectos de los LEDs: propiedades eléctricas, propiedades ópticas, estructuras de LEDs de alta eficiencia interna, estructuras de alta eficiencia externa, LEDs en el visible, LEDs blancos, LEDs para comunicaciones ópticas... Este libro, además de servir de apoyo en los temas 3 y 4 de la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos, puede servir al alumno para profundizar en aspectos relacionados con los LEDs que no han sido desarrollados en la asignatura.

Takahiro Numai, "Laser Diodes and their Applications to Communications and Information Processing", Wiley Online Books, 2010.

Este libro presenta de forma detallada los diodos láser, tanto su principio de funcionamiento, como las principales estrategias que se utilizan para optimizar su estructura y mejorar las prestaciones de los dispositivos. Es un libro muy recomendable para el bloque 3 de la asignatura. Está disponible de forma online a través de cualquier IP de la Universidad de Valladolid en este enlace:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470769522>

A. K. Dutta, N. K. Dutta, M. Fujiwara, "WDM Technologies. Active Optical Components", Academic Press, 2002.

Este libro se centra en los dispositivos optoelectrónicos utilizados en comunicaciones ópticas. Ofrece una amplia descripción de las diferentes estructuras y propiedades de láseres, fotodiodos y moduladores ópticos. Abarca desde su principio de funcionamiento, hasta dispositivos y estructuras específicas. Los contenidos del libro superan ampliamente a los de la asignatura de Dispositivos Optoelectrónicos. Sin embargo, puede ser utilizado para algunos de los apartados de los temas 6 (LDs específicos) y 7 (Fotodiodos). Este libro también proporcionará al alumno una visión amplia de las diferentes tecnologías de fabricación de dispositivos optoelectrónicos, y de otras muchas utilidades no vistas en la asignatura.