

UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

GUÍA DE APRENDIZAJE

SISTEMAS Y CIRCUITOS INTEGRADOS FOTÓNICOS

MÁSTER EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

CURSO ACADÉMICO	CÓDIGO	CURSO	CRÉDITOS	CARÁCTER	SEMESTRE
2026-27	93001389	2	5 ECTS	OPTATIVA	SEGUNDO SEMESTRE
IDIOMA	CENTRO RESPONSABLE				
ESPAÑOL	E.T.S. DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACION				
DEPARTAMENTO RESPONSABLE					
TECNOLOGÍA FOTÓNICA Y BIOINGENIERÍA					

COORDINADOR/A

MORTEN ANDREAS GEDAY - morten.geday@upm.es

REQUISITOS OBLIGATORIOS

ASIGNATURAS REQUERIDAS

—

CONOCIMIENTOS PREVIOS RECOMENDADOS

ASIGNATURAS RECOMENDADAS

- (93001388)

OTRAS RECOMENDACIONES

—

RESULTADOS

RD-822/2021

Conocimientos

KG1 Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación

Habilidades o destrezas

HG2 Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio

HE13 Capacidad para aplicar conocimientos avanzados de fotónica y optoelectrónica, así como electrónica de alta frecuencia

Competencias

CE12 Capacidad para utilizar dispositivos lógicos programables, así como para diseñar sistemas electrónicos avanzados, tanto analógicos como digitales. Capacidad para diseñar componentes de comunicaciones como por ejemplo encaminadores, conmutadores, concentradores, emisores y receptores en diferentes bandas

CG4 Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan, a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades

CG5 Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo

CT4 Capacidad para trabajar de forma efectiva como individuo, organizando y planificando su propio trabajo, de forma independiente o como miembro de un equipo

CE14 Capacidad para desarrollar instrumentación electrónica, así como transductores, actuadores y sensores

CE10 Capacidad para diseñar y fabricar circuitos integrados

DESCRIPCIÓN

La fotónica constituye una tecnología habilitadora esencial para el desarrollo de las telecomunicaciones, la sensórica, la automoción, la biomedicina y la computación del futuro. No es una disciplina más: es una

infraestructura tecnológica crítica que sostiene la innovación global.

Más del 50% de la asignatura se desarrolla en el laboratorio, donde trabajarás directamente con moduladores electro-ópticos, cristales líquidos y técnicas ópticas de microfabricación como la fotolitografía convencional y por escritura directa con láser. Cada sesión práctica se prepara con tests breves y se consolida con informes que te obligan a pensar como un ingeniero.

A lo largo del curso aprenderás a diseñar, simular y caracterizar **componentes y circuitos fotónicos integrados**, una habilidad muy demandada en la industria. El proyecto final te reta a crear un diseño fabricable, demostrando que puedes recorrer el camino completo: desde los fundamentos ópticos hasta la integración en chip.

El curso tiene como objetivo ofrecer a los estudiantes una introducción amplia a un número seleccionado de tecnologías de fotónica. Se pone énfasis en la experiencia práctica de los estudiantes en las sesiones de laboratorio y prácticas, con un sólido respaldo teórico en las clases magistrales.

TEMARIO

1. Introducción y Tendencias actuales en fotónica

1.1. Presentación del curso

1.2. Óptica del espacio libre

1.3. Fotónica Cuántica

1.4. Fotónica de vehículos

1.4.1. Reconocimiento de objetos

1.4.2. LIDAR

1.4.3. Comunicaciones intravehículo

2. Elementos básicos de sistemas fotónicos

2.1. Polarización: Cálculo de Mueller y Jones

2.2. Retardadores: Efectos Pockels y Hall

2.3. Efecto Faraday: Optoaisladores y circuladores

2.4. Dispositivos de fase (Phase plates) y Luz estructurada

3. Elementos electroópticos

3.1. Cristales Líquidos y Moduladores espaciales

3.2. Moduladores de alta frecuencia

3.2.1. Travelling wave (LiNiO₃)

3.3. Dispositivos acustoópticos y piezoeléctricos

4. Tecnologías fotónicas para la microfabricación

4.1. Resinas fotolitográficas

4.2. Tecnologías de exposición

4.3. Dispositivos de multicapa

5. Plataformas de integración fotónica

5.1. Plataformas de integración genéricas

5.2. Técnicas de fabricación de PICs

5.3. Caracterización y encapsulado de PICs

6. Componentes fotónicos integrados

6.1. Pasivos

6.2. Activos

6.3. Láseres integrados en PICs

ACTIVIDADES

Actividad evaluable



Actividad formativa

	Introducción y Tendencias			SEMANAS																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	E	
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	GRUPO																	
Presencial	02h 00m	Aula (en horario)	Normal																	
TEMAS																				
T1																				
METODOLOGÍA																				
Lección Magistral																				

	Elementos básicos			SEMANAS																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	E	
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	GRUPO																	
Presencial	04h 00m	Aula (en horario)	Normal																	
TEMAS																				
T2																				
METODOLOGÍA																				
Lección Magistral																				

	Elementos electroópticos			SEMANAS																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	E	
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	GRUPO																	
Presencial	03h 00m	Aula (en horario)	Normal																	
TEMAS																				
T3																				
METODOLOGÍA																				
Lección Magistral																				

	P1 Retardador LC variable(~MZ) y SLM			SEMANAS																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	E	
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	GRUPO																	
Presencial	01h 50m	Laboratorio	Reducido																	
TEMAS																				
T3																				
METODOLOGÍA																				
Prácticas de Laboratorio																				

 P2 Luz estructurada		SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E																
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	GRUPO															
Presencial	01h 50m	Laboratorio	Reducido															
TEMAS T2																		
METODOLOGÍA Prácticas de Laboratorio																		

 P3 Fotolitografía convencional		SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E																
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	GRUPO															
Presencial	01h 50m	Laboratorio	Reducido															
TEMAS T4																		
METODOLOGÍA Prácticas de Laboratorio																		

 P4 Fotolitografía por DLW		SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E																
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	GRUPO															
Presencial	01h 50m	Laboratorio	Reducido															
TEMAS T4																		
METODOLOGÍA Prácticas de Laboratorio																		

 Tecnologías de microfabricación		SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E																
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	GRUPO															
Presencial	01h 00m	Aula (en horario)	Normal															
TEMAS T4																		
METODOLOGÍA Lección Magistral																		

	Plataformas de integración	SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E	
PRESENCIALIDAD Presencial	DURACIÓN TOTAL 04h 00m	LUGAR Aula (en horario)	GRUPO Normal
TEMAS T5			
METODOLOGÍA Lección Magistral			

	Componentes fotónicos integrados	SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E	
PRESENCIALIDAD Presencial	DURACIÓN TOTAL 04h 00m	LUGAR Aula (en horario)	GRUPO Normal
TEMAS T6			
METODOLOGÍA Lección Magistral			

	P5 Diseño y simulación de componentes	SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E	
PRESENCIALIDAD Presencial	DURACIÓN TOTAL 06h 00m	LUGAR Aula (en horario)	GRUPO Normal
TEMAS T5 T6			
METODOLOGÍA Aprendizaje basado en proyectos			

	P6 Diseño de circuitos integrados	SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E	
PRESENCIALIDAD Presencial	DURACIÓN TOTAL 06h 00m	LUGAR Aula (en horario)	GRUPO Normal
TEMAS T5 T6			
METODOLOGÍA Aprendizaje basado en proyectos			

	Caracterización y ensayo de circuitos integrados			SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E																
	PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	GRUPO																
	Presencial	01h 00m	Aula (en horario)	Normal																
	TEMAS T5 T6																			
METODOLOGÍA Aprendizaje basado en proyectos																				

	4 Cuestionarios previos a Laboratorio			SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E															
	PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	NOTA MÍNIMA													
	Presencial	00h 40m	Laboratorio	Progresiva	20%	4 No recup.													
	RECUPERABLE No																		
JUSTIFICACIÓN La participación en las sesiones de laboratorio es esencial para que los estudiantes adquieran la destreza y conocimientos necesarios para desenvolverse en contextos de laboratorio. La participación en los exámenes previos a las sesiones de laboratorio garantiza que los estudiantes sean puntuales y bien preparados																			
TEMAS T2 T3 T4																			
METODOLOGÍA Examen Escrito																			
RESULTADOS EVALUADOS KG1 HG2 HE13 CE14 CE10 CE12																			

	6 Informes de prácticas			SEMANAS 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E															
	PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	NOTA MÍNIMA														
	No presencial, sin docente	06h 00m	Progresiva	40%	4														
	TEMAS T2 T3 T4 T5 T6																		
METODOLOGÍA Trabajo en Grupo																			
RESULTADOS EVALUADOS KG1 HG2 HE13 CG4 CG5 CT4																			

Trabajo individual		SEMANAS																
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E																
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	NOTA MÍNIMA														
No presencial, sin docente	04h 00m	Progresiva, Global	40%	4														
TEMAS																		
T5 T6 T4																		
METODOLOGÍA																		
Trabajo Individual																		
RESULTADOS EVALUADOS																		
KG1 HG2 HE13 CE12 CE10 CE14 CT4 CG5 CG4																		

Examen extraordinario		SEMANAS																
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E																
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	NOTA MÍNIMA													
Presencial	02h 00m	Laboratorio	Extraordinaria	100%	5													
TEMAS																		
T1 T2 T3 T4 T5 T6																		
METODOLOGÍA																		
Examen de Prácticas																		
RESULTADOS EVALUADOS																		
KG1 HG2 HE13 CG4 CG5 CT4 CE14 CE10 CE12																		

	SEMANAS																
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E																
PRESENCIALIDAD																	

Examen ordinario -Global		SEMANAS																
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 E																
PRESENCIALIDAD	DURACIÓN TOTAL	LUGAR	EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	NOTA MÍNIMA													
Presencial	01h 00m	Laboratorio	Global	60%	5													
METODOLOGÍA																		
Examen de Prácticas																		
RESULTADOS EVALUADOS																		
KG1 HG2 HE13 CG4 CG5 CT4 CE14 CE10 CE12																		

PLANIFICACIÓN SEMANAL

Actividad evaluable Actividad formativa Semana con actividad E Período de exámenes

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	E
 Introducción y Tendencias	.															
 Elementos básicos	.	.														
 Elementos electroópticos			.	.	.											
 P1 Retardador LC variable(–MZ) y SLM			.	.												
 P2 Luz estructurada			.	.												
 P3 Fotolitografía convencional					.	.										
 P4 Fotolitografía por DLW					.	.										
 Tecnologías de microfabricación						.										
 Plataformas de integración							.	.	.	.						
 Componentes fotónicos integrados											.	.	.	.		
 P5 Diseño y simulación de componentes							.	.	.							
 P6 Diseño de circuitos integrados										.	.	.				
 Caracterización y ensayo de circuitos integrados													.			
 4 Cuestionarios previos a Laboratorio			.	.	.	.										
 6 Informes de prácticas				.	.	.	.			.			.			
 Trabajo individual													.	.	.	
 Examen extraordinario																.
																

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	E
 Examen ordinario -Global																.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Criterios Generales

Este curso se centra en que el estudiante aprenda en el laboratorio, por lo que la evaluación progresiva, que requiere la asistencia a cada clase de laboratorio, es la opción preferida.

La evaluación continua se distribuye entre cuestionarios cortos (20%) antes de la sesión de laboratorio y el informe posterior (40%) y un trabajo final demostrando la capacidad para diseñar un circuito fotónico integrado.

Sin embargo, los estudiantes con habilidades y conocimientos suficientes para no necesitar asistir a las sesiones individuales de laboratorio pueden presentarse para los exámenes globales y/o extraordinarios, sin haber participado en todas las sesiones de laboratorio ni haber elaborado los informes correspondientes.

El examen global consistirá en que el estudiante ejecute subsecciones de las sesiones de laboratorio, explique al profesor (que actuará como un compañero con escasa preparación) todos los pasos necesarios y el aprendizaje implícito en ellos. La intención es que el estudiante durante el examen demuestre los resultados de aprendizaje previstos, así como su capacidad de comunicación y de liderazgo en grupos de trabajo. El examen extraordinario empleará el mismo esquema de evaluación que el examen global.

En todas las evaluaciones, la habilidad para expresar de forma concisa el conocimiento adquirido en forma de informes y resolución de problemas es fundamental.

Criterios de Evaluación en Convocatoria Ordinaria. Evaluación progresiva

Criterios de evaluación

Las pruebas de laboratorio consisten en preguntas bastante cortas que pueden responderse escribiendo un párrafo corto o de opción múltiple.

Estas pruebas tienen como objetivo garantizar que el estudiante ha estudiado y comprendido la sesión de laboratorio planificada, y por tanto la precisión será uno de los criterios principales de evaluación.

En los informes de laboratorio, la concisión y la claridad de los resultados obtenidos son elementos críticos, ya que se asume que el estudiante ha adquirido los conocimientos necesarios durante la ejecución de la sesión de laboratorio.

En el trabajo individual final, se evaluará críticamente la capacidad del estudiante para encontrar soluciones al desafío propuesto y la capacidad de alcanzar un diseño fabricable.

Actividades

- 4 Cuestionarios previos a Laboratorio (20%)
- 6 Informes de prácticas (40%)
- Trabajo individual (40%)

Criterios de Evaluación en Convocatoria Ordinaria. Prueba global**Criterios de evaluación**

La prueba global evaluará al estudiante en el contexto del laboratorio. Los conocimientos necesarios y la destreza de laboratorio se evaluarán individualmente.

Los estudiantes participarán en el examen y serán seleccionados aleatoriamente en una de las sesiones de laboratorio presentadas. Durante la ejecución, el estudiante presentará toda la teoría relevante y realizará las mediciones necesarias.

Actividades

- Trabajo individual (40%)
- Examen ordinario -Global (60%)

Criterios de Evaluación en Convocatoria Extraordinaria**Criterios de evaluación**

La prueba extraordinaria evaluará al estudiante en el contexto del laboratorio. Los conocimientos necesarios y la destreza de laboratorio se evaluarán individualmente.

Los estudiantes participarán en el examen y serán seleccionados aleatoriamente en una de las sesiones de laboratorio presentadas. Durante la ejecución, el estudiante presentará toda la teoría relevante y realizará las mediciones necesarias.

Actividades

- Examen extraordinario (100%)

RECURSOS**Bibliografía**

J.M. OTÓN & E. ÓTON: "HARNESSING LIGHT: SOME NOTES ON PHOTONICS" UPM-press 2022.

Libro que ofrece una introducción sencilla, aunque incompleta, al curso.

Fundamentals of Photonics Bahaa E. A. Saleh & Malvin Carl Teich, "Fundamentals of Photonics" John Wiley & Sons, 1991

Libro clásico de fotónica que ofrece una introducción completa al curso.

Optics Eugene Hecht, Addison-Wesley, 1990

Web

Alex Ryer, "Light Measurement Handbook", Available for free online at various places <http://apps.usd.edu/coglab/schieber/pdf/handbook.pdf> (Accesed 29/06/2020)

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Educación de calidad



Energía asequible y no contaminante



Industria, innovación e infraestructura



Ciudades y comunidades sostenibles



Producción y consumo responsables

OTRA INFORMACIÓN

ODS 9 — Industria, Innovación e Infraestructura

Este es el ODS más directamente vinculado al curso, y además aparece explícitamente en el documento. La justificación es muy sólida:

- El curso desarrolla tecnologías clave para **infraestructuras avanzadas**, como comunicaciones ópticas, sensores, LIDAR y circuitos fotónicos integrados.
- La fotónica es un motor directo de **innovación industrial**, especialmente en telecomunicaciones, automoción, biomedicina y fabricación avanzada.
- Las prácticas de laboratorio y el diseño de PICs fomentan la **capacidad de innovación tecnológica**, uno de los pilares del ODS 9.
- La microfabricación y la integración fotónica están directamente relacionadas con **infraestructuras industriales de alta tecnología**.

ODS 7 — Energía asequible y no contaminante

- La fotónica es esencial para mejorar la **eficiencia energética** en comunicaciones y sensores.
- Los circuitos fotónicos integrados consumen **mucho menos** que sus equivalentes electrónicos, contribuyendo a reducir el impacto energético de centros de datos y redes de telecomunicaciones.
- El curso enseña tecnologías que permiten **transmisiones ópticas de bajo consumo**, alineadas con la transición energética.

ODS 11 — Ciudades y comunidades sostenibles

- Tecnologías como el **LIDAR**, la sensórica óptica y la fotónica vehicular son fundamentales para la movilidad inteligente, la seguridad vial y la gestión urbana avanzada.
- El curso aborda explícitamente “*Fotónica de vehículos*” y “*Reconocimiento de objetos*”, tecnologías clave para ciudades más seguras y eficientes.

ODS 4 — Educación de calidad

- El curso ofrece un enfoque educativo basado en **aprendizaje práctico, autónomo y orientado a la innovación**, alineado con las metas del ODS 4.
- Fomenta competencias avanzadas en ciencia y tecnología, esenciales para una educación superior de calidad.

ODS 12 — Producción y consumo responsables

- La microfabricación fotónica y los PICs permiten **reducir materiales, energía y residuos** en comparación con tecnologías electrónicas tradicionales.
- El curso enseña procesos de fabricación más eficientes y escalables, coherentes con una producción responsable.