



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros de
Telecomunicacion

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

93001307 - Caracterización De Dispositivos Y Materiales Fotovoltaicos

PLAN DE ESTUDIOS

09BP - Master Universitario En Energia Solar Fotovoltaica

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2024/25 - Segundo semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
6. Cronograma.....	6
7. Actividades y criterios de evaluación.....	9
8. Recursos didácticos.....	14
9. Otra información.....	15

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	93001307 - Caracterización de Dispositivos y Materiales Fotovoltaicos
No de créditos	6 ECTS
Carácter	Optativa
Curso	Primer curso
Semestre	Segundo semestre
Período de impartición	Febrero-Junio
Idioma de impartición	Inglés/Castellano
Titulación	09BP - Master Universitario en Energia Solar Fotovoltaica
Centro responsable de la titulación	09 - Escuela Tecnica Superior De Ingenieros De Telecomunicacion
Curso académico	2024-25

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Ivan Garcia Vara (Coordinador/a)	IES-204	ivan.garciav@upm.es	Sin horario. Agreed by email
Ignacio Rey-Stolle Prado	IES-107	ignacio.reystolle@upm.es	Sin horario. Agreed by email
Maria Mercedes Gabas Perez	IES-106	mercedes.gabas@upm.es	Sin horario. Agreed by email

David Fuertes Marron	IES-201	david.fuertes@upm.es	Sin horario. Agreed by email
----------------------	---------	----------------------	---------------------------------

* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

3. Conocimientos previos recomendados

3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Fundamentos De CÉlulas Solares

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Fundamentals of physics and knowledge about semiconductor physics

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

CB10 - 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.

CB6 - 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

CB7 - 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

CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios

CE2 - Conocimiento, análisis y propuestas de nuevos conceptos, métodos o dispositivos para la conversión fotovoltaica.

CG4 - Organización y planificación: Organizar, planificar y gestionar proyectos complejos y multidisciplinares que involucren varios de los aspectos tratados en el Máster

CG5 - Gestión de la información: buscar y gestionar recursos bibliográficos adecuados con eficiencia, aprender a continuar los estudios de manera ampliamente autónoma como base para la futura actividad de investigación e innovación

CG8 - Aplicar metodologías, procedimientos, herramientas y normas del estado del arte para la creación de nuevos componentes tecnológicos; Construir nuevas hipótesis y modelos, evaluarlos y aplicarlos a la resolución de problemas

CG9 - Comunicar juicios, y conocimientos a audiencias especializadas y no especializadas, de una manera razonada, clara y sin ambigüedades

CT3 - Uso de la lengua inglesa: comprender los contenidos de clases magistrales, conferencias y seminarios en lengua inglesa; redactar en inglés informes y artículos científico-técnicos usando herramientas informáticas; realizar exposiciones públicas en inglés de trabajos, resultados y conclusiones de investigación, por ejemplo, en las asignaturas del Máster o en congresos de carácter mayoritariamente internacional o en estancias en centros extranjeros, todo ello con la ayuda de medios informáticos audiovisuales

CT4 - Liderazgo de equipos: realizar trabajos en equipo (como los de algunas de las actividades de evaluación de las asignaturas), integrarse en un grupo de investigación participando activamente en sus reuniones, colaborando con iniciativa propia en trabajos o proyectos de I+D+i; interaccionar con efectividad con los miembros del equipo de trabajo multidisciplinar

4.2. Resultados del aprendizaje

RA4 - RA2 ? RA24 ? Conocimiento de los fundamentos físicos de las células solares

RA6 - RA4 ? RA32 ? Capacidad para analizar y medir las curvas $i-v$ de células solares

RA8 - RA3 ? RA53 ? Conocer los componentes de los sistemas fotovoltaicos

RA7 - RA6 ? RA25 ? Capacidad para comprender el funcionamiento básico de diferentes tipos de células solares, tanto actuales, como las que surjan en un futuro próximo.

RA10 - RA10 ? RA38 ? Formación aplicada en física de materiales.

RA12 - RA11 ? RA39 ? Capacidad para comprender los fundamentos físicos de las células solares actuales y de nueva generación

RA9 - RA7 ? RA33 ? Formación en los aspectos prácticos de la caracterización de células solares

RA11 - RA12 ? RA37 ? Comprender los principios físicos relevantes que afectan al funcionamiento de las células solares

RA5 - RA5 ? RA36 ? Conocer los efectos físicos que permiten el aprovechamiento de la energía solar

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

We will first pursue a deep understanding of electrical characterization of solar cells, introduced in previous subject "Fundamentals of Solar Cells". Then, we tackle the study of the most important device, material and semiconductor structure characterization techniques in the context of solar cell analysis and development, associating characterization techniques to solar cell fabrication steps.

At the end of this course the student will:

- Understand the operating principles of electronic loads to measure I-V curves.
- Master the measurement of solar cell I-V curves following ASTM standards.
- Know the most relevant characterization techniques used to assess the results of usual solar cell fabrication steps.
- Be able to assess the performance of semiconductor structures and solar cells by using the appropriate characterization methods

5.2. Temario de la asignatura

1. Characterization and data processing tools
2. Solar cell performance characterization: the I-V curve in depth
 - 2.1. Accurate I-V curve using electronic loads
 - 2.2. Solar simulators and spectral effects
 - 2.3. Measurements under ASTM standards
3. Characterization of semiconductor materials and solar cell structures
 - 3.1. Spectral response and quantum efficiency
 - 3.2. Semiconductor surface preparation: surface characterization
 - 3.3. Optical characterization
 - 3.4. Characterization of photogeneration and recombination in materials and structures
 - 3.5. Dopant diffusion: characterization of doping and carrier density profiles
 - 3.6. Layer deposition: thickness and structural characterization
 - 3.7. Front grid metal formation: characterization of series resistance components

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad tipo 1	Actividad tipo 2	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Introduction to the course Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Characterization and data processing tools Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	Electronic loads and I-V curve Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Lab session 1: I-V curve in depth Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		Lab session data gathering PI: Técnica del tipo Presentación Individual Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00 Lab session report (linked to lab session data gathering) TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00
3	Solar simulators and spectral effects Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Lab session 2: Solar simulators and spectral effects Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		Lab session data gathering PI: Técnica del tipo Presentación Individual Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00 Lab session report. (linked to lab session data gathering) TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00
4	ASTM measurements Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Lab session 3: ASTM measurements Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		Lab session data gathering PI: Técnica del tipo Presentación Individual Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00 Lab session report (linked to lab session data gathering) TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00

5	<p>Spectral Response and Quantum Efficiency Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p>Lab Session 4: Spectral Response and Quantum Efficiency Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		<p>Lab session data gathering PI: Técnica del tipo Presentación Individual Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00</p> <p>Lab session report (linked to lab session data gathering) TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00</p>
6	<p>Lab Session 5: Measurement and assessment of prototype solar cell Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	<p>Lab Session 6: Advanced measurement techniques Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
7	<p>Surface characterization Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p>Report TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00</p>
8	<p>Optical characterization Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p>Lab session 7: Analysis of optical measurements Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		<p>Lab session data gathering PI: Técnica del tipo Presentación Individual Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00</p> <p>Lab session report (linked to lab session data gathering) TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00</p>
9	<p>Photogeneration and recombination characterization Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p>Lab session 8 Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
10	<p>Layer thickness and structure characterization Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p>Lab session 9: XRD and ECV measurements Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
11	<p>Dopant diffusion characterization Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
12		<p>Lab session 10: Front grid and series resistance components characterization Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		<p>Lab session data gathering PI: Técnica del tipo Presentación Individual Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00</p> <p>Lab session report (linked to lab session data gathering) TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00</p>

13				Lab sessions report (linked to lab sessions data gathering) PI: Técnica del tipo Presentación Individual Evaluación Global No presencial Duración: 00:00
14				
15				
16				
17				Exam EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 03:00 Exam EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 03:00

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

7. Actividades y criterios de evaluación

7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

7.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
2	Lab session data gathering	PI: Técnica del tipo Presentación Individual	Presencial	02:00	%	/ 10	CG8 CB7 CT4
2	Lab session report (linked to lab session data gathering)	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	6%	6 / 10	CG8 CG9 CB6 CB7 CB8 CB10 CG4 CT3 CT4 CE2 CG3 CG5
3	Lab session data gathering	PI: Técnica del tipo Presentación Individual	Presencial	02:00	%	/ 10	CG8 CB7 CT4
3	Lab session report. (linked to lab session data gathering)	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	6%	6 / 10	CG3 CG5 CG8 CG9 CB6 CB7 CB8 CB10 CG4 CT3 CT4 CE2
4	Lab session data gathering	PI: Técnica del tipo Presentación Individual	Presencial	02:00	%	/ 10	CG8 CB7 CT4

4	Lab session report (linked to lab session data gathering)	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	6%	6 / 10	
5	Lab session data gathering	PI: Técnica del tipo Presentación Individual	Presencial	02:00	%	/ 10	CG8 CB7 CT4
5	Lab session report (linked to lab session data gathering)	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	6%	6 / 10	
7	Report	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	4%	6 / 10	
8	Lab session data gathering	PI: Técnica del tipo Presentación Individual	Presencial	02:00	%	/ 10	CG8 CB7 CT4
8	Lab session report (linked to lab session data gathering)	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	6%	6 / 10	CG3 CG5 CG8 CG9 CB6 CB7 CB8 CB10 CG4 CT3 CT4 CE2
12	Lab session data gathering	PI: Técnica del tipo Presentación Individual	Presencial	02:00	%	/ 10	CG8 CB7 CT4
12	Lab session report (linked to lab session data gathering)	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	6%	6 / 10	CG3 CG5 CG8 CG9 CB6 CB7 CB8 CB10 CG4 CT3 CT4 CE2

17	Exam	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	60%	5 / 10	CG3 CG5 CG8 CG9 CB6 CB7 CB8 CB10 CG4 CT3 CT4 CE2
----	------	-------------------------------------	------------	-------	-----	--------	---

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
13	Lab sessions report (linked to lab sessions data gathering)	PI: Técnica del tipo Presentación Individual	No Presencial	00:00	40%	/ 10	CG3 CG5 CG8 CG9 CB6 CB7 CB8 CB10 CG4 CT3 CT4 CE2
17	Exam	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	60%	5 / 10	CG8 CG9 CB6 CB7 CB8 CB10 CG4 CT3 CT4 CE2 CG3 CG5

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Exam	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	60%	5 / 10	CG3 CG5 CG8 CG9 CB6 CB7 CB8 CB10 CG4 CT3 CT4 CE2
Lab reports (lab reports without lab data uploaded during lab sessions will not be considered)	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:02	40%	5 / 10	CB7 CT4 CG8

7.2. Criterios de evaluación

To pass successfully this course, the final grade should be equal or above 5/10, when considering each of the evaluation activities and their weight.

The lab session data and report elaboration for the progressive evaluation are liberating blocks with regards to the extraordinary evaluation.

PROGRESSIVE ASSESSMENT

Lab Session Work and Reports

Lab sessions are presential. During lab sessions, the characterization techniques learned in theory classes are practiced using instrumentation in a research laboratory. At the end of the class, the data obtained by each alumn has to be uploaded to Moodle. It is compulsory to upload this data and this activity cannot be recovered.

After the lab session, a report must be written. The complete session reports will account for 40% of the grade. The assessment criteria for each of these reports will be as follows:

- Structure and scientific format (30%). How is the text structured and the information displayed; quality of graphs and figures; treatment of uncertainties; delay in delivering the report, etc.
- Data quality (30%). Completeness of data set, quality of measurements, observation errors, etc.
- Discussions (40%). Clarity, conciseness, and accuracy of the discussions included to interpret the results or answer the questions in the report.

Each report must be presented during the next week after the corresponding lab session.

The lab report and the data obtained in the laboratory session are linked. Failure to obtain and upload the measurement data in a lab session will cause a 0 mark in the corresponding report.

Given the nature of these laboratory sessions, this activity cannot be recovered.

Exam

The written exam will account for 6/10 of the final score. It will consist of a set of 20 multiple-choice questions. No ancillary material or documentation will be allowed in the exam.

The minimum score of the exam to pass the course is 5/10.

ASSESSMENT WITH GLOBAL EVALUATION ONLY

The global evaluation will consist in a written exam, accounting for 6/10 of the final score. This is the same exam as for the rest of students following the continuous assessment.

Laboratory reports can also be presented for the global evaluation, for a maximum total score of 4/10 of the final score. Those reports with no associated laboratory data uploaded during the course will get a 0 score.

EXTRAORDINARY EVALUATION

Lab Session Reports

Laboratory reports can also be presented for the extraordinary evaluation, for a maximum total score of 4/10 of the final score. Those reports with no laboratory data uploaded during the course will get a 0 score.

Exam

For all students: written exam, accounting for 6/10 of the final score.

REQUIREMENTS FOR ADVANCED EXTRAORDINARY EXAM

Students coursing this subject for a second year can exceptionally advance the extraordinary exam to January examination period. The scores obtained in the preceding year for the laboratory part will be used.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Characterization labs	Equipamiento	Characterization labs available at IES-UPM
Modeling software	Otros	Custom software for modeling
Moodle	Recursos web	Repository for documentation, student forum and marks
References	Bibliografía	Recommended books and scientific papers

9. Otra información

9.1. Otra información sobre la asignatura

This course is related to SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL 7, "Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all". In particular, to its specific target "7.1 By 2030, increase substantially the share of renewable energy in the global energy mix". This course aims at mastering the tools and methods to accurately measure the solar cell performance under standar conditions, and to know the main characterization methods used during the development and manufacturing of solar cell. Thus, this course constitutes a fundamental knowledge for the impulse and penetration of Photovoltaic Solar Energy.