



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

93001301 - Fundamentos De Células Solares

PLAN DE ESTUDIOS

09BP - Master Universitario En Energia Solar Fotovoltaica

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2024/25 - Primer semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	3
5. Descripción de la asignatura y temario.....	5
6. Cronograma.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	16
9. Otra información.....	17

BORRADOR

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	93001301 - Fundamentos de Células Solares
No de créditos	6 ECTS
Carácter	Básica
Curso	Primer curso
Semestre	Primer semestre
Período de impartición	Septiembre-Enero
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	IES-204	ivan.garciav@upm.es	Sin horario. Set an appointment by email
Antonio Marti Vega	IES-108	antonio.marti@upm.es	Sin horario. Set an appointment by email

Carlos Del Cañizo Nadal	IES-107	carlos.canizo@upm.es	Sin horario. Set an appointment by email
Ignacio Rey-Stolle Prado (Coordinador/a)	IES-107	ignacio.reystolle@upm.es	Sin horario. Set an appointment 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

El plan de estudios Master Universitario en Energía Solar Fotovoltaica no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Fundamentals of Electronics
- Semiconductors fundamentals
- Measurement theory and uncertainty analysis
- Basic electrical measurements

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

CE1 - Comprender, analizar y juzgar la relevancia de cualquier contribución en este campo, en relación con su entorno social, energético y científico-técnico.

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

CE3 - Realización, desarrollo e innovación de procesos tecnológicos para la fabricación de dispositivos fotovoltaicos.

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 científicos 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

RA16 - RA27 - Capacidad crítica para analizar los diferentes modelos en términos de principios básicos de la física

RA15 - RA5 - Relacionar los principios básicos con los aspectos prácticos

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

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

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

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

RA22 - RA70 - Conocer los procesos de fabricación de células solares

RA14 - RA4 - Capacidad para analizar los resultados

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

RA19 - RA45 - Capacitar al alumno a hacer presentaciones en público

RA1 - Diseño de la estructura de una célula solar en función de sus parámetros internos (dopajes, espesores...) y propiedades de material

RA21 - RA47 - Aprender a argumentar convincentemente

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

The subject aims to present the physical principles of operation and the descriptive models of photovoltaic converters (solar cells). First, the current-voltage characteristics of a solar cell and its main parameters, such as open-circuit voltage, short-circuit current, and fill factor, are described. Next, the ambipolar semiconductor equation is introduced, solved, and applied to the p/n junction that constitutes the solar cell. This approach helps to explain the quantum efficiency of a cell and the reverse saturation current according to its internal design parameters, such as thickness and doping levels. The course continues with a comprehensive physical description of a solar cell's functioning. Finally, an overview of the various types and technologies of solar cells available on the market today is provided.

A series of practical sessions and laboratory experiments complement the theoretical content. The primary cognitive goal of these sessions is to provide hands-on experience with the basic characterization methods and tools for solar cell devices. This general goal will be achieved through the following specific objectives:

- Master the basic techniques for solar cell characterization.
- Understand the main factors influencing solar cell electrical characteristics.
- Operate electrical instrumentation necessary for solar cell characterization.
- Accurately present experimental data

5.2. Temario de la asignatura

1. Solar cell characteristics: The I-V curve
2. The solar cell equivalent circuit
3. Quantum efficiency and spectral response
4. Series and shunt resistance
5. Effects of irradiance and temperature
6. Types of solar cells
 - 6.1. Silicon
 - 6.2. Thin film
 - 6.3. Multijunction

6.4. Other solar cells

7. Lab session 1: Preliminary work and lab etiquette
8. Lab session 2 : Morphological characterization of a solar cell
9. Lab session 3: I-V curve measurement in dark and lighted conditions
10. Lab session 4: Effect of irradiance and spectrum on I-V curves
11. Lab session 5: Resistive and temperature effects on I-V curves
12. Lab session 6: Fitting I-V curves

BORRADOR

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad tipo 1	Actividad tipo 2	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Course Presentation Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Lab session 1: Lab etiquette and management of experimental uncertainty Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio			
2	Solar cell basics: description and operation Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Semiconductor fundamentals Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Report for Lab Session #1 TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva y Global No presencial Duración: 02:00
3		Lab session 2: Morphological characterization of a solar cell Duración: 04:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
4	The solar cell equivalent circuit Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Dark and lighted I-V Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Quantum efficiency, spectral response and thermal effects Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Series resistance Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Report for Lab Session #2 TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva y Global No presencial Duración: 02:00
5		Lab session 3: I-V curve measurement in dark and lighted conditions Duración: 04:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		

6	<p>Photovoltaic efficiency limits Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Modelling a solar cell from its structure Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Introduction to the different types of solar cells Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p>Report for Lab Session #3 TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva y Global No presencial Duración: 02:00</p>
7		<p>Lab session 4: Effect of irradiance and spectrum on I-V curves Duración: 04:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
8	<p>Silicon solar cells Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Thin-film solar cells Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p>Report for Lab Session #4 TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva y Global No presencial Duración: 02:00</p>
9		<p>Lab session 5: Resistive and temperature effects on I-V curves Duración: 04:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
10	<p>Multijunction solar cells Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Emerging solar cell technologies Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p>Report for Lab Session #5 TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva y Global No presencial Duración: 02:00</p>
11		<p>Lab session 6: Fitting I-V curves Duración: 04:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
12	<p>Solar cell fabrication Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p>Report for Lab Session #6 TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva y Global No presencial Duración: 02:00</p>
13	<p>Review and Q&A Duración: 04:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
14	<p>Review and Q&A Duración: 03:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p>Final Exam EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva y Global Presencial Duración: 01:00</p>

15				
16				
17				

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.

BORRADOR

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	Report for Lab Session #1	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE1 CE2 CE3
4	Report for Lab Session #2	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE1 CE2 CE3
6	Report for Lab Session #3	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE1 CE2 CE3

8	Report for Lab Session #4	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CT4 CE1 CE2 CE3
10	Report for Lab Session #5	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CT4 CE1 CE2 CE3
12	Report for Lab Session #6	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CT4 CE1 CE2 CE3
14	Final Exam	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	58%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CT4 CE1 CE2 CE3

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
2	Report for Lab Session #1	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE1 CE2 CE3
4	Report for Lab Session #2	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE1 CE2 CE3
6	Report for Lab Session #3	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE1 CE2 CE3
8	Report for Lab Session #4	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CT4 CE1 CE2 CE3

10	Report for Lab Session #5	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CT4 CE1 CE2 CE3
12	Report for Lab Session #6	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	7%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CT4 CE1 CE2 CE3
14	Final Exam	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	58%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CT4 CE1 CE2 CE3

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Theory exam	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	58%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CT4 CE1 CE2 CE3
Laboratory Practical Exam	EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas	Presencial	01:00	42%	5 / 10	CB6 CB7 CB8 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CT4 CE1 CE2 CE3

7.2. Criterios de evaluación

Ordinary evaluation

- The subject is evaluated on 10 points
- Up to 4.2 points are obtained from the average of the grades from the lab session reports.
- The remaining 5.8 points are obtained from the theory exam (multiple choice) that will be held in the exam period after the school period
- It is necessary to reach at least 5.0 points to pass the course.

Extra evaluation

In the case of failure to pass the ordinary evaluation, the course can be passed in an extra (final) evaluation, typically taking place at the end of the second semester (i.e. end of June)

Such evaluation consists of two parts: a theory exam (multiple choice) and a practical exam that takes place in the lab and revises the experimental parts of the course. If, during the regular course period, the lab sessions have been passed (globally) there is no need to take this practical exam. So it is the student's choice either to retake the practical exam and get a new grade or keep the one obtained in the ordinary evaluation.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Course web page	Recursos web	The course web page at UPM's Moodle server contains all material needed to follow the course. This includes: * Presentations for all sessions * Lab session guides * Additional material (readings, videos, Matlab programs, Excel sheets, data ...)
Solar cell characterization lab	Equipamiento	The Solar Cell Characterization Facility at the Solar Energy Institute of the Technical University of Madrid will be the lab used for this course.
Handbook of photovoltaic Science and Engineering	Bibliografía	Varios autores, Handbook of photovoltaic Science and Engineering 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.
Course notes	Bibliografía	Teacher notes and texts on some difficult topics in the course

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 understanding the operation and measurement of basic photovoltaic devices and thus constitutes fundamental knowledge for the impulse and penetration of Photovoltaic Solar Energy.

BORRADOR