



POLITÉCNICA

INTERNATIONAL
CAMPUS OF
EXCELLENCE

COORDINATION PROCESS OF
LEARNING ACTIVITIES
PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros de
Telecomunicacion

ANX-PR/CL/001-01

LEARNING GUIDE

SUBJECT

93001034 - Solar Cell Fundamentals

DEGREE PROGRAMME

09AX - Master Universitario en Energía Solar Fotovoltaica

ACADEMIC YEAR & SEMESTER

2020/21 - Semester 1

Index

Learning guide

1. Description.....	1
2. Faculty.....	1
3. Prior knowledge recommended to take the subject.....	2
4. Skills and learning outcomes	2
5. Brief description of the subject and syllabus.....	4
6. Schedule.....	6
7. Activities and assessment criteria.....	8
8. Teaching resources.....	11
9. Other information.....	12

1. Description

1.1. Subject details

Name of the subject	93001034 - Solar Cell Fundamentals
No of credits	4 ECTS
Type	Compulsory
Academic year of the programme	First year
Semester of tuition	Semester 1
Tuition period	September-January
Tuition languages	English
Degree programme	09AX - Master Universitario en Energia Solar Fotovoltaica
Centre	09 - Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Telecomunicacion
Academic year	2020-21

2. Faculty

2.1. Faculty members with subject teaching role

Name and surname	Office/Room	Email	Tutoring hours *
Antonio Marti Vega (Subject coordinator)	IES-108	antonio.marti@upm.es	M - 15:00 - 16:00

* The tutoring schedule is indicative and subject to possible changes. Please check tutoring times with the faculty member in charge.

3. Prior knowledge recommended to take the subject

3.1. Recommended (passed) subjects

The subject - recommended (passed), are not defined.

3.2. Other recommended learning outcomes

- Fundamentos de semiconductores (Fundamentals of semiconductors)
- Electrónica básica (Fundamentals of electronics)
- Ecuaciones diferenciales de segundo grado (Second order linear differential equations)

4. Skills and learning outcomes *

4.1. Skills to be learned

CB06 - 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

CB07 - 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

CB08 - 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

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.

CE02 - Conocimiento, análisis y propuestas de nuevos conceptos, métodos o dispositivos para la conversión fotovoltaica

CG03 - Creatividad: Concebir, desarrollar y validar nuevos sistemas que puedan aumentar la calidad de vida de las personas; Realizar, en contextos académicos y profesionales, innovaciones o avances tecnológicos que puedan hacer avanzar el estado del arte

CG05 - 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

CG08 - 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

CG09 - Comunicar juicios, y conocimientos a audiencias especializadas y no especializadas, de una manera razonada, clara y sin ambigüedades

CT03 - 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

4.2. Learning outcomes

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

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

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

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

RA3 - RA53 - Conocer los componentes de los sistemas fotovoltaicos

* The Learning Guides should reflect the Skills and Learning Outcomes in the same way as indicated in the Degree Verification Memory. For this reason, they have not been translated into English and appear in Spanish.

5. Brief description of the subject and syllabus

5.1. Brief description of the subject

La asignatura pretende presentar los principios físicos de funcionamiento y los modelos de descripción de los convertidores fotovoltaicos (células solares). En primer lugar se describe la característica corriente tensión de una célula solar y sus parámetros principales como la tensión de circuito abierto, la corriente de cortocircuito y el factor de forma. A continuación se plantea la ecuación ambipolar de los semiconductores y se resuelve aplicada a la unión pn que constituye la célula solar. Así se aprende a describir la eficiencia cuántica de una célula y la corriente inversa de saturación de una célula en función de sus parámetros de diseño internos como espesores y dopajes. Se prosigue con una descripción física global del funcionamiento de una célula solar apoyándonos en alguna simulación numérica que permite refrendar el valor de las aproximaciones analíticas. Finalmente se da una visión global de los distintos tipos y tecnologías de células solares realizándose una introducción a las nuevas tecnologías.

The subject aims to present the physical principles of operation and the description models of photovoltaic converters (solar cells). First, the current voltage characteristic of a solar cell and its main parameters such as the open circuit voltage, the short-circuit current and the form factor are described. Next, the ambipolar semiconductor equation is proposed and solved applied to the pn junction that constitutes the solar cell. This is how you learn to describe the quantum efficiency of a cell and the reverse current of saturation of a cell according to its internal design parameters such as thicknesses and doping. We continue with a global physical description of the functioning of a solar cell supported by some numerical simulation that allows to validate the value of the analytical approaches. Finally, there is a global vision of the different types and technologies of solar cells, making an introduction to new technologies.

5.2. Syllabus

1. Introducción a las células solares: característica corriente-tensión (Introduction to solar cells: current-voltage characteristic)
2. Tipos de células solares (types of solar cells)
 - 2.1. silicio (silicon)
 - 2.2. delgadas (Thin films)
 - 2.3. multiunión (multijunction)
 - 2.4. Otros tipos de células (Other types of solar cells)
3. Fundamentos de la física de semiconductores (Fundamentals of semiconductor physics)
4. Ecuaciones fundamentales de los semiconductores (Fundamental semiconductor equations)
 - 4.1. En equilibrio (In equilibrium)
 - 4.2. La unión pn en oscuridad (the pn junction in dark conditions)
 - 4.3. La unión pn iluminada: la eficiencia cuántica (The pn junction under illumination: the quantum efficiency)
5. Conceptos avanzados (Advanced concepts)
 - 5.1. El concepto de BSF (The BSF concept)
 - 5.2. La resistencia serie (The series resistance)

6. Schedule

6.1. Subject schedule*

Week	Face-to-face classroom activities	Face-to-face laboratory activities	Distant / On-line	Assessment activities
1	Tema I Duration: 03:00			
2	Tema II Duration: 03:00			
3	Tema II Duration: 03:00			
4	Tema II Duration: 03:00			
5	Tema III Duration: 03:00			
6	Tema III Duration: 03:00			<p>Presentación del primer parte del trabajo (Presentation of the first part of the work)</p> <p>Continuous assessment Presential Duration: 02:00</p> <p>Cuestionario sobre la primera parte de la asignatura , hasta el Tema II incluido. (questionnaire of the first part, up to subject II included)</p> <p>Continuous assessment Presential Duration: 02:00</p>
7	Tema IV Duration: 03:00			
8	Tema IV Duration: 03:00			
9	Tema IV Duration: 03:00			
10	Tema V Duration: 03:00			

11	<p>Examen Duration: 02:00</p>			<p>Preguntas sobre el temario desarrollado - parte I (Questions about the topics explained - part I)</p> <p>Final examination Presential Duration: 00:30</p> <p>Preguntas sobre el temario desarrollado -parte II (Questions about the topics explained - part II)</p> <p>Final examination Presential Duration: 00:30</p> <p>Presentación trabajo</p> <p>Final examination Presential Duration: 02:00</p> <p>Preguntas sobre el temario desarrollado -parte II (Questions about the topics explained - part II)</p> <p>Continuous assessment Presential Duration: 00:30</p> <p>Presentación segunda parte del trabajo. Presentation of the second part of the work</p> <p>Continuous assessment Presential Duration: 02:00</p>
12				
13				
14				
15				
16				
17				

Depending on the programme study plan, total values will be calculated according to the ECTS credit unit as 26/27 hours of student face-to-face contact and independent study time.

* The schedule is based on an a priori planning of the subject; it might be modified during the academic year, especially considering the COVID19 evolution.

7. Activities and assessment criteria

7.1. Assessment activities

7.1.1. Continuous assessment

Week	Description	Modality	Type	Duration	Weight	Minimum grade	Evaluated skills
6	Presentación del primer parte del trabajo (Presentation of the first part of the work)		Face-to-face	02:00	20%	5 / 10	CG03 CB08 CT03 CG08 CB07 CB06 CG09 CB10 CG05 CE02
6	Cuestionario sobre la primera parte de la asignatura , hasta el Tema II incluido. (questionnaire of the first part, up to subject II included)		Face-to-face	02:00	30%	5 / 10	CG05 CE02 CG03 CB08 CT03 CG08 CB07 CB06 CG09 CB10
11	Preguntas sobre el temario desarrollado -parte II (Questions about the topics explained - part II)		Face-to-face	00:30	30%	5 / 10	CB08 CT03 CG08 CB07 CB06 CG09 CB10 CE02 CG03
11	Presentación segunda parte del trabajo. Presentation of the second part of the work		Face-to-face	02:00	20%	5 / 10	CG05 CE02 CG03 CB08 CT03 CG08 CB07 CB06 CG09 CB10

7.1.2. Final examination

Week	Description	Modality	Type	Duration	Weight	Minimum grade	Evaluated skills
11	Preguntas sobre el temario desarrollado - parte I (Questions about the topics explained - part I)		Face-to-face	00:30	30%	5 / 10	CG03 CB08 CT03 CG08 CB07 CB06 CG09 CG05 CE02 CB10
11	Preguntas sobre el temario desarrollado -parte II (Questions about the topics explained - part II)		Face-to-face	00:30	30%	5 / 10	CG05 CE02 CG03 CB08 CT03 CG08 CB07 CB06 CG09 CB10
11	Presentación trabajo		Face-to-face	02:00	40%	5 / 10	CG03 CB08 CT03 CG08 CB07 CB06 CG09 CB10 CG05 CE02

7.1.3. Referred (re-sit) examination

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

7.2. Assessment criteria

En la evaluación continua:

* El alumno tiene que presentar un trabajo escrito en dos partes. En la primera parte, que entrega a mediados de curso, el trabajo será breve, esquemático y se valorará la estructura, que no haya faltas de ortografía, que la sintaxis sea correcta, que las referencias sean las que tienen que ser y estén citadas de forma adecuada, que las figuras sean de calidad, es decir, se pondrá énfasis en los aspectos formales de un trabajo. Esta primera parte vale un 20 % de la asignatura. En la segunda parte, que entrega al final del curso se pondrá énfasis en la evaluación del contenido del trabajo: originalidad, dificultad, profundidad, calidad de las discusiones, etc. Esta segunda parte vale un 20 % de la calificación de la asignatura. Los criterios de evaluación de todos estos apartados se avanzan con anterioridad al alumno mediante una rúbrica. La originalidad de los trabajos se comprueba con turnetin pudiendo suspenderse al alumno el trabajo con un cero si el profesor considera que el porcentaje de copia real es superior al 25 %.

* Además, el alumno tiene que responder a dos cuestionarios tipo test, distribuidos en el tiempo, uno correspondiente a la primera parte de la asignatura (hasta tema II inclusive), con un peso del 30 % de la calificación de la asignatura, y el otro, correspondiente al resto de la asignatura, con un peso del 30 % restante.

En la evaluación final el alumno tiene que presentar un trabajo (peso del 40 %) y dos cuestionarios correspondientes a la primera y segunda parte de la asignatura con un peso del 30 % de la asignatura.

--

In continuous evaluation:

* The student has to present a written work in two parts. In the first part, which is delivered in the middle of the course, the work will be brief, schematic and the structure will be valued, that there are no misspellings, that the syntax is correct, that the references are those that must be and are cited in an appropriate way, that the figures are of quality, that is, emphasis will be placed on the formal aspects of a work. This first part is worth 20% of the subject. In the second part, delivered at the end of the course, emphasis will be placed on evaluating the content of the work: originality, difficulty, depth, quality of the discussions, etc. This second part is worth 20% of the course grade. The evaluation criteria of all these sections are advanced to the student through a rubric. The originality of the works is checked with turnetin, being able to suspend the student's work with a zero if the teacher considers that the percentage of real copy is greater than 25%.

* In addition, the student has to answer two test-type questionnaires, distributed over time, one corresponding to the first part of the course (up to and including topic II), weighing 30% of the course grade, and the another, corresponding to the rest of the subject, with a weight of the remaining 30%.

In the final evaluation the student has to present a work (weight of 40%) and two questionnaires corresponding to the first and second part of the subject with a weight of 30% of the subject.

8. Teaching resources

8.1. Teaching resources for the subject

Name	Type	Notes
[1]	Bibliography	M. Kelvy, Fisica del estado sólido y semiconductores. Lima: Limusa, 1989.
[2]	Bibliography	Varios autores, Handbook of photovoltaic Science and Engineering 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.
[3]	Bibliography	H. J. Hovel, Solar Cells vol. 11. New York: Academic Press, 1975.
[4]	Bibliography	P. Würfel, Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts. Chichester: John Wiley & Sons, 2009.
[5]	Bibliography	W. Shockley and H. J. Queisser, "Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells," Journal of Applied Physics, vol. 32, pp. 510-519, 1961.
[6]	Bibliography	R. F. Pierret, Semiconductor Fundamentals, Modular Series on Solid State Devices, 2 ed. Reading: Addison Wesley, 1989.
[7]	Bibliography	G. W. Neudeck, The pn Junction Diode vol. 2. Reading: Addison-Wesley, 1989.

[8]	Bibliography	A. J. Nozik, G. Conibeer, and M. C. Beard, Advanced Concepts in Photovoltaics: Royal Society of Chemistry, 2014.
video de las lecciones	Web resource	Las clases se encuentran grabadas en vídeo y son accesibles mediante Moodle. Lectures are pre-recorded and are accesible in Moodle.

9. Other information

9.1. Other information about the subject

Al estar las clases pregrabadas en vídeo, de promoverá en todo lo posible el concepto de clase invertida (flipped class) por el cual, los alumnos deben precisualizar la clección antes de asistir a clase de modo que el profesor se concentrará en la resolución de dudas, resolución de problemas o comentarios sobre bibliograia relevante. Por otro lado, la existencia de estas clases facilitará que, en caso de emergencia, pueda cambiarse con facilidad a un modelo de tele-enseñanza en caso de emergencia motivada por el Covid-19

As the prerecorded classes are on video, the concept of flipped class will be promoted as much as possible, by which students must preview the lesson before attending class so that the teacher will focus on solving doubts , problem solving or comments on relevant bibliography. On the other hand, the existence of these classes will make it easier to switch to a tele-teaching model in case of Covid-19 emergency.