



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

93001046 - New Generation Solar Cells

DEGREE PROGRAMME

09AX - Master Universitario en Energía Solar Fotovoltaica

ACADEMIC YEAR & SEMESTER

2020/21 - Semester 2

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.....	5
6. Schedule.....	7
7. Activities and assessment criteria.....	9
8. Teaching resources.....	11
9. Other information.....	12

1. Description

1.1. Subject details

Name of the subject	93001046 - New Generation Solar Cells
No of credits	3 ECTS
Type	Optional
Academic year of the programme	First year
Semester of tuition	Semester 2
Tuition period	February-June
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	W - 12:00 - 13:00 Solicitud previa en el correo electrónico antonio.marti@upm.es donde se podrán gestionar horas adicionales

Carlos Algora Del Valle	IES-106	carlos.algora@upm.es	W - 12:00 - 13:00 Solicitar en algora@ies- def.upm.es
-------------------------	---------	----------------------	--

* 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)
- Física elemental (Basic Physics)
- Conocimientos de electrónica (Fundamentals of electronics)

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

CB09 - 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

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

CE03 - Realización, desarrollo e innovación de procesos tecnológicos para la fabricación de dispositivos fotovoltaicos.

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

CG07 - Trabajo en contextos internacionales: Llevar a cabo un proceso sustancial de investigación con seriedad e integridad académicas, integrado en un grupo de I+D+i con proyección internacional

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

CT04 - 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. Learning outcomes

RA2 - RA24 - Conocimiento de los fundamentos físicos de las 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.

RA8 - RA70 - Conocer los procesos de fabricación de células solares

RA19 - RA57 - Capacidad de analizar la viabilidad y el potencial de diseños novedosos de células solares

RA22 - RA45 - Capacitar al alumno a hacer presentaciones en público

RA23 - RA47 - Aprender a argumentar convincentemente

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

RA13 - RA5 - Relacionar los principios básicos con los aspectos prácticos

RA14 - RA65 - Capacidad para analizar resultados

RA15 - RA27 - Capacidad crítica de analizar los diferentes modelos en términos de principios básicos de la física.

RA18 - RA56 - Formación en física cuántica y termodinámica aplicada a las células solares

RA17 - RA4 - Capacidad para analizar los resultados

RA21 - RA34 - Conocer los procesos de fabricación de células solares

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

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

RA20 - RA6 - Formación en los aspectos teóricos y prácticos del diseño usando "primeros principios"

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

* 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

En esta asignatura se describen las denominadas "células solares de nueva generación" que son aquellas células que en la actualidad se estudian en el Laboratorio. Estas células actúan como motor de la ciencia y tecnología fotovoltaica y quizá algún día sustituyan a las células solares actuales. Con el fin de que el alumno comprenda su funcionamiento, primero se revisan algunos conceptos termodinámicos básicos y se hace una revisión de los límites de eficiencia de conversión fotovoltaica. A continuación se describen estas células: células solares de banda intermedia, células de portadores calientes, células de generación de múltiples excitones, células multiunión, células basadas en nanohilos, células solares de silicio avanzadas, perovskitas, etc. El estudio de estas células, no solo permite comprender su funcionamiento, sino también analizar críticamente diversos aspectos relacionados con los procesos de conversión fotovoltaica.

This course describes the so-called "new generation solar cells" which are those cells that are currently being studied in the Laboratory. These cells act as the engine of photovoltaic science and technology and may someday replace the current solar cells. In order for the student to understand its operation, first some basic thermodynamic concepts are reviewed and a revision of the efficiency limits of photovoltaic conversion is made. These cells are described below: intermediate band solar cells, hot carrier cells, multiple exciton generation cells, multi-junction cells, nano-wire based cells, advanced silicon solar cells, perovskites, etc. The study of these cells, not only allows to understand its operation, but also to critically analyze various aspects related to the processes of photovoltaic conversion.

5.2. Syllabus

1. Límites de eficiencia de conversión fotovoltaica (efficiency limits of PV conversion)
 - 1.1. Balance detallado : Shockley & Queiser (Detailed balance: Schokley and Queisser)
 - 1.2. Termodinamica aplicada al cálculo de la eficiencia límite de conversión fotovoltaica (Thermodynamics applied to photovoltaics)
2. El fenómeno del reciclaje de fotones (photon recycling)
3. Introducción a las estructuras cuánticas (introduction to quantum structures)
4. Células solares de banda intermedia (intermediate band solar cells)
5. Células solares de portadores calientes (hot carrier solar cells)
6. Células solares de generación múltiple de excitones (multiple exciton solar cells)
7. Perovskitas (perovskites)
8. Otros conceptos: Other concepts
 - 8.1. Sistemas termofotovoltaicos (Thermophotovoltaic systems)
 - 8.2. Concentradores planos (Flat concentrators)
 - 8.3. Célula solar de tres terminales de tipo transistor (Three terminal heterojunction bipolar transistor solar cell)
9. Células solares multiunión (multijunction solar cells)

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: 02:00			
2	Tema I Duration: 02:00			
3	Tema II Duration: 02:00			
4	Tema III Duration: 02:00			
5	Tema IV Duration: 02:00			
6	Tema IV Duration: 02:00			Primer cuestionario (first questionnaire) Continuous assessment Presential Duration: 00:30
7	Tema V Duration: 02:00			
8	Tema V Duration: 02:00			
9	Tema VI Duration: 02:00			
10	Tema VI Duration: 02:00			
11	Tema VIII Duration: 02:00			
12	Tema IX Duration: 02:00			
13	Resolución de cuestiones Duration: 02:00			

14				
15				
16				
17	Examen Duration: 02:00			Segundo cuestionario (Second questionnaire) Continuous assessment Presential Duration: 00:30 Examen escrito consistente en varias preguntas de tipo teórico/práctico Written exam consisting in several theoretical and practical questions Final examination Presential Duration: 01:00

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	Primer cuestionario (first questionnaire)		Face-to-face	00:30	50%	5 / 10	CG08 CB08 CE02 CE03 CT03 CG05 CB06 CB07 CT04 CB10 CG09 CG07 CB09
17	Segundo cuestionario (Second questionnaire)		Face-to-face	00:30	50%	5 / 10	CG03 CG08 CB08 CE02 CE03 CT03 CB06 CB07 CB10 CB09

7.1.2. Final examination

Week	Description	Modality	Type	Duration	Weight	Minimum grade	Evaluated skills
17	Examen escrito consistente en varias preguntas de tipo teórico/práctico Written exam consisting in several theoretical and practical questions		Face-to-face	01:00	100%	5 / 10	CG03 CG08 CB08 CE02 CE03 CT03 CG05 CB06 CB07 CT04 CB10 CG09

								CG07
								CB09

7.1.3. Referred (re-sit) examination

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

7.2. Assessment criteria

En la evaluación continua, se pedirá a los alumnos que resuelvan dos cuestionarios espaciados en el tiempo, uno a mediados de la asignatura y otro al final de la asignatura.

En la evaluación de prueba final, los alumnos deberán responder un único cuestionario que cubrirá toda la asignatura.

--

In the continuous assessment, students will be asked to solve two questionnaires spaced in time, one in the middle of the course and the other at the end of the course.

In the final test evaluation, students must answer a single questionnaire that will cover the entire subject.

8. Teaching resources

8.1. Teaching resources for the subject

Name	Type	Notes
Web of Science	Web resource	https://www.recursoscientificos.fecyt.es/
Limites de eficiencia	Bibliography	A. Luque and S. Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering: Wiley, 2011.
Descripción de células solares avanzadas	Bibliography	P. Würfel, Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts. Chichester: John Wiley & Sons, 2009.
Estructuras cuánticas	Bibliography	C. Weisbuch and B. Vinter, Quantum Semiconductor Structures. San Diego: Academic Press, 1991.
Quasi-niveles de Fermi	Bibliography	A. Martí and A. Luque, "Electrochemical Potentials (Quasi-Fermi Levels) and the Operation of Hot-Carrier, Impact-Ionization, and Intermediate-Band Solar Cells," Photovoltaics, IEEE Journal of, vol. 3, pp. 1298-1304, 2013.
Sistemas termofotovoltaicos	Bibliography	T. Bauer, Thermophotovoltaics: Basic Principles and Critical Aspects of System Design: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
Reciclaje de fotones	Bibliography	A. Martí, J. L. Balanzategui, and R. F. Reyna, "Photon recycling and Shockley's diode equation," Journal of Applied Physics, vol. 82, pp. 4067-4075, 1997.
Células solar de silicio avanzadas, MEG, HCSC, multiunión, perovskitas	Bibliography	A. J. Nozik, G. Conibeer, and M. C. Beard, Advanced Concepts in Photovoltaics: Royal Society of Chemistry, 2014.

Células solares e banda intermedia	Bibliography	Í. Ramiro, A. Martí, E. Antolín, and A. Luque, "Review of Experimental Results Related to the Operation of Intermediate Band Solar Cells," IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 4, pp. 736-748, 2014.
clases pregrabadas	Web resource	Las clases de a asignatura se encuentran pregrabadas en vídeo, en versión inglesa y española. Se puede acceder a ellas en Moodle. The classes of a subject are prerecorded on video, in English and Spanish. They can be accessed in Moodle.
Paper 3T solar cells	Bibliography	A. Martí and A. Luque, "Three-terminal heterojunction bipolar transistor solar cell for high-efficiency photovoltaic conversion," Nat. Commun., vol. 6, pp. 6902-6902, Apr. 2015.
Heterojunction solar cells	Bibliography	A. Martí, "Limiting Efficiency of Heterojunction Solar Cells," IEEE J. Photovoltaics, vol. 9, no. 6, pp. 1590-1595, 2019.

9. Other information

9.1. Other information about the subject

Las clases se encuentran pregrabadas en vídeo y son accesibles mediante Moodle. Se potenciará la clase invertida (flipped class). En caso de emergencia sanitaria, esta metodología es compatible con la tele-enseñanza donde las dudas de los alumnos se resolverán utilizando la herramienta Zoom en el horario de clases.

The classes are prerecorded on video and are accessible through Moodle. The flipped class will be enhanced. In the event of a health emergency, this methodology is compatible with tele-teaching where students' doubts will be resolved using the Zoom tool during class time.