



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros de
Telecomunicación

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

93001314 - Software De Simulación Y Optimización De Sistemas Fotovoltaicos

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. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
4. Descripción de la asignatura y temario.....	4
5. Cronograma.....	7
6. Actividades y criterios de evaluación.....	9
7. Recursos didácticos.....	12
8. Otra información.....	12

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	93001314 - Software de Simulación y Optimización de Sistemas Fotovoltaicos
No de créditos	3 ECTS
Carácter	Optativa
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 *
Cesar Dominguez Dominguez (Coordinador/a)		cesar.dominguez@upm.es	- -
Pablo Garcia-Linares Fontes		p.garcia-linares@upm.es	Sin horario.
Ruben Nuñez Judez		ruben.nunez@upm.es	Sin horario.

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

2.3. Profesorado externo

Nombre	Correo electrónico	Centro de procedencia
Estefanía Caamaño Martín	estefania.cmartin@upm.es	E.T.S. DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACION

3. Competencias y resultados de aprendizaje

3.1. 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

CB9 - 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

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

CE5 - Diseño, análisis, caracterización, planificación e instalación de componentes y sistemas fotovoltaicos de propósito general, autónomos o conectados a la red.

CE7 - Analizar, diseñar e implementar sistemas fotovoltaicos de complejidad media-alta

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

3.2. Resultados del aprendizaje

RA34 - Formación general sobre las aplicaciones, el uso práctico de los sistemas fotovoltaicos y una perspectiva sobre la tecnología fotovoltaica

RA37 - Conocer las herramientas específicas de ingeniería para diseñar y evaluar sistemas fotovoltaicos

RA14 - RA4 - Capacidad para analizar los resultados

RA35 - Conocer los aspectos prácticos de la instalación

RA13 - RA3 - Conocer las herramientas de simulación más utilizadas para células y sistemas FV

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

RA36 - Aplicar los servicios y herramientas disponibles en el mercado al diseño de sistemas fotovoltaicos

4. Descripción de la asignatura y temario

4.1. Descripción de la asignatura

The aim of this course is to develop the student's competencies for the modeling, analysis, design and optimization of photovoltaic (PV) systems and their components using the most standard software tools used in industry (PVsyst) and the academia (PVLIB Python). The course presents typical PV module performance models as a function of the operating conditions, as well as procedures for accessing, modeling and translating solar resource and weather data in order to predict the power generated by a complete PV system at a given location.

The methodological approach is based on a series of short lectures on the modeling and analysis of PV systems and their components, complemented by tutorial and hands-on laboratory sessions on the software tools to be used: PVLIB Python (open source) and PVSyst (the industry-standard commercial tool). The students will use these tools to simulate PV systems and components using realistic case studies. Students will be asked to develop a series of individual tasks or small PV system projects throughout the course to put into practice the concepts seen in class and acquire sufficient mastery of the tools. Learning the tools of this course will be especially useful in the rest of the subjects of the PV Systems itinerary, which make use of them for some of the lab sessions or projects.

PVLIB Python tutorials: Implementation of a complete PV system modeling chain using open source libraries.

1 Python for science and PVLIB toolchain setup

2 Accessing irradiance and weather data

3 Modeling solar resource and in-plane irradiance

4 Modeling PV performance using the single diode model

5 Estimating module temperature

6 Modeling a grid-connected PV generator,

PVSyst tutorial: modeling grid-connected PV systems using commercial software

* Please note that **no previous background on Python language is expected or required**, as the course will provide an initial crash course on Python programming and the development environments to be used during the course, such as Spyder or Jupyter Notebooks.

4.2. Temario de la asignatura

1. Introduction to scientific Python and the PVLIB toolchain
2. Meteorological and solar resource data sources
 - 2.1. Accessing weather databases and evaluating data quality
 - 2.2. Generation of synthetic series
3. Solar resource modeling
 - 3.1. Estimating solar position and angle of incidence
 - 3.2. Estimating missing irradiance components
 - 3.3. Plane-of-array irradiance: transposition to the generator plane
 - 3.4. Modeling solar tracking and back-tracking
4. Electrical and thermal modeling of photovoltaic panels
 - 4.1. 5-parameters single diode model. Identification of parameters for a commercial PV module.
 - 4.2. Modeling the effect of irradiance and temperature
 - 4.3. Empirical models of I-V parameter variation
 - 4.4. Cell temperature estimation
 - 4.5. Estimating model accuracy
5. Modeling a grid-connected PV system including losses
 - 5.1. Partial shading
 - 5.2. Modeling optical (incidence angle modifier) and spectral losses
 - 5.3. Effect of soiling
 - 5.4. DC and AC electrical losses
 - 5.5. Modeling inverter performance
6. Introduction to PVsyst for sizing and simulation of grid-connected PV systems

5. Cronograma

5.1. 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 Crash course on Python for engineering Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	Crash course on Python for engineering Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas Crash course on Python for engineering Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			Exercise 1: Python for data 1 TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00
3	Crash course on Python for engineering Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas PVLIB tutorial 1: Setting up a PVLIB Python toolchain Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			Exercise 2: Python for data 2 TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00
4	Lecture. Meteorological and solar resource data sources Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral PVLIB tutorial 2: Accessing irradiance and weather data Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			Exercise 3: accessing and analyzing solar resource time series TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00
5	Lecture. Solar resource modeling and plane-of-array irradiance Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral PVLIB tutorial 3: Modeling solar resource and in-plane irradiance Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			Exercise 4: modeling and transposing irradiance TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00
6	Lecture. Electrical and thermal modeling of photovoltaic modules Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral PVLIB tutorial 4: Modeling performance of PV modules using single diode model Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			Exercise 5: modeling PV performance using the single diode model TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00

7	<p>Lecture. Estimating cell temperature Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>PVLIB tutorial 5: Estimating module temperature from ambient conditions Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p>Exercise 6: estimating cell temperature from ambient conditions TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:00</p>
8	<p>Lecture. Modeling a grid-connected PV system including optical, DC and AC losses Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>PVLIB tutorial 6: Modeling a complete PV generator by combining module strings and AC inverters Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
9	<p>Tutorial session on PVLIB Python projects Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
10	<p>Introduction to PVSyst Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
11	<p>PVSyst tutorial: Sizing and simulation of a grid-connected PV system Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
12	<p>PVSyst tutorial: Sizing and simulation of a grid-connected PV system Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
13	<p>PVSyst tutorial: Sizing and simulation of a grid-connected PV system Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
14				
15				
16				<p>Individual project PVSyst: modeling a grid-connected PV system TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva y Global No presencial Duración: 00:00</p>
17				<p>Individual project PVLIB Python: modeling a PV system using an open source library TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva y Global No presencial Duración: 00:00</p>

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.

6. Actividades y criterios de evaluación

6.1. Actividades de evaluación de la asignatura

6.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
2	Exercise 1: Python for data 1	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	2%	0 / 10	CT3 CE5 CE7
3	Exercise 2: Python for data 2	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	2%	0 / 10	CT3 CE5 CE7
4	Exercise 3: accessing and analyzing solar resource time series	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	4%	0 / 10	CB8 CT3 CE5 CE7
5	Exercise 4: modeling and transposing irradiance	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	4%	0 / 10	CB8 CT3 CE5 CE7
6	Exercise 5: modeling PV performance using the single diode model	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	4%	0 / 10	CB8 CT3 CE5 CE7
7	Exercise 6: estimating cell temperature from ambient conditions	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	4%	0 / 10	CB8 CT3 CE5 CE7
16	Individual project PVSyst: modeling a grid-connected PV system	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	40%	0 / 10	CB7 CB8 CB9 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE5 CE7

17	Individual project PVLIB Python: modeling a PV system using an open source library	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	40%	0 / 10	CB6 CB7 CB8 CB9 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE2 CE5 CE7
----	--	---	---------------	-------	-----	--------	--

6.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
16	Individual project PVSyst: modeling a grid-connected PV system	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	40%	0 / 10	CB7 CB8 CB9 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE5 CE7
17	Individual project PVLIB Python: modeling a PV system using an open source library	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	40%	0 / 10	CB6 CB7 CB8 CB9 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE2 CE5 CE7

6.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Portfolio of individual projects: the student may rework and present (again or for the first time) every individual project for a new assessment	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:00	100%	0 / 10	CB6 CB7 CB8 CB9 CB10 CG3 CG5 CG8 CG9 CT3 CE2 CE5 CE7

6.2. Criterios de evaluación

Assessment will be based on weekly individual exercises (6) and project assignments (2) that require the student to apply the modeling concepts seen during the course, and present and analyze results.

7. Recursos didácticos

7.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Fundamentals of Solar Cells and Photovoltaic Systems Engineering	Bibliografía	M. Victoria (ed.). Elsevier, 2024
PVLIB Python documentation	Recursos web	https://pvlib-python.readthedocs.io/
PVsyst documentation	Recursos web	https://www.pvsyst.com/help/index.html
Scipy Lecture Notes	Recursos web	https://scipy-lectures.github.io/ Tutorials on the scientific Python ecosystem
Electricidad solar fotovoltaica. Volumen II: Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos	Bibliografía	E. Lorenzo. Progensa, 2006.
Electricidad solar fotovoltaica. Volumen III: Ingeniería fotovoltaica	Bibliografía	E. Lorenzo. Progensa, 2014.

8. Otra información

8.1. Otra información sobre la asignatura

This course promotes some of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), in particular:

- SDG 7: Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all. Target 7.2 By 2030, increase substantially the share of renewable energy in the global energy mix
- SDG 13: Take urgent action to combat climate change and its impacts. Target 13.3 Improve education, awareness-raising and human and institutional capacity on climate change mitigation, adaptation, impact reduction and early warning