



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S.I Aeronáutica y del
Espacio

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

143003035 - Pilas De Combustible Para Aplicaciones Aeroespaciales

PLAN DE ESTUDIOS

14IB - Master Universitario En Ingeniería Aeronautica

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2025/26 - 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.....	6
6. Actividades y criterios de evaluación.....	8
7. Recursos didácticos.....	13
8. Otra información.....	15

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	143003035 - Pilas de Combustible para Aplicaciones Aeroespaciales
No de créditos	3 ECTS
Carácter	Optativa
Curso	Segundo curso
Semestre	Tercer semestre
Período de impartición	Septiembre-Enero
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	14IB - Master Universitario en Ingeniería Aeronautica
Centro responsable de la titulación	14 - E.T.S.I. Aeronáutica Y Del Espacio
Curso académico	2025-26

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Juan Ramon Arias Perez (Coordinador/a)		juanramon.arias@upm.es	- -
Efren Moreno Benavides		efren.moreno@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
Oscar González Espasandín	gonzalezeo@inta.es	INTA
Oscar Santiago Carretero	santiago@uni-bremen.de	Universidad de Bremen

3. Competencias y resultados de aprendizaje

3.1. Competencias

CE-SP-1 - Aptitud para proyectar, construir y seleccionar la planta de potencia más adecuada para un vehículo aeroespacial, incluyendo las plantas de potencia aeroderivadas.

CE-SP-7 - Capacidad para acometer el Diseño Mecánico de los distintos componentes de un sistema propulsivo, así como del sistema propulsivo en su conjunto.

CE-SP-8 - Capacidad para diseñar, ejecutar y analizar los Ensayos de Sistemas Propulsivos, y para llevar a cabo el proceso completo de Certificación de los mismos.

CE-SP-9 - Conocimiento adecuado de los distintos Subsistemas de las Plantas Propulsivas de Vehículos Aeroespaciales.

CG1 - Capacidad para proyectar, construir, inspeccionar, certificar y mantener todo tipo de aeronaves y vehículos espaciales, con sus correspondientes subsistemas.

CG10 - Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Aeronáutico.

CG11 - 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.

CG12 - 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.

CG13 - Ser capaz 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.

CG14 - 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.

CG15 - Poseer las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

CG16 - Capacidad de integrar el respeto al medio ambiente como actitud general en la gestión y el desempeño de sus actividades.

CG3 - Capacidad para la dirección general y la dirección técnica de proyectos de investigación, desarrollo e innovación, en empresas y centros tecnológicos aeronáuticos y espaciales.

CG4 - Capacidad de integrar sistemas aeroespaciales complejos y equipos de trabajo multidisciplinares.

CG5 - Capacidad para analizar y corregir el impacto ambiental y social de las soluciones técnicas de cualquier sistema aeroespacial.

CG6 - Capacidad para el análisis y la resolución de problemas aeroespaciales en entornos nuevos o desconocidos, dentro de contextos amplios y complejos.

CG7 - Competencia para planificar, proyectar, gestionar y certificar los procedimientos, infraestructuras y sistemas que soportan la actividad aeroespacial, incluyendo los sistemas de navegación aérea.

CG8 - Competencia para el proyecto de construcciones e instalaciones aeronáuticas y espaciales, que requieran un proyecto integrado de conjunto, por la diversidad de sus tecnologías, su complejidad o por los amplios conocimientos técnicos necesarios.

CG9 - Competencia en todas aquellas áreas relacionadas con las tecnologías aeroportuarias, aeronáuticas o espaciales que, por su naturaleza, no sean exclusivas de otras ramas de la ingeniería.

CT1 - Capacidad para comprender los contenidos de clases magistrales, conferencias y seminarios, así como cualquier información y documentación en lengua inglesa.

CT2 - Capacidad para dinamizar y liderar equipos de trabajo multidisciplinares.

CT3 - Capacidad para adoptar soluciones creativas que satisfagan adecuadamente las diferentes necesidades planteadas.

CT4 - Capacidad para trabajar de forma efectiva como individuo, organizando y planificando su propio trabajo, de forma independiente o como miembro de un equipo.

CT5 - Capacidad para gestionar la información, identificando las fuentes necesarias, los principales tipos de documentos técnicos y científicos, de una manera adecuada y eficiente.

CT6 - Capacidad para emitir juicios sobre implicaciones económicas, administrativas, sociales, éticas y medioambientales ligadas a la aplicación de sus conocimientos.

3.2. Resultados del aprendizaje

RA102 - Conocimiento, comprensión y aplicación del funcionamiento de las pilas de combustible.

RA76 - RA3.- Elaborar informes y documentación a partir de la información suministrada utilizando bibliografía y fuentes de conocimiento adecuados.

4. Descripción de la asignatura y temario

4.1. Descripción de la asignatura

El objetivo general del curso es dar a conocer la tecnología de las pilas de combustible como alternativa a algunos de los sistemas de propulsión aérea y/o producción de energía actuales.

4.2. Temario de la asignatura

1. PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL

1.1. Introducción. Las formas de energía. Fuentes de energía. Fuentes no renovables de energía. Fuentes renovables de energía. Relación entre fuentes y combustibles. La energía en España. El problema de la energía.

2. PRINCIPIO DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

2.1. Introducción. Perspectiva histórica y evolución, tendencias actuales. Las pilas de combustible en el panorama energético mundial: fuentes de energía. Tipos de pilas de combustible. Componentes de las pilas de combustible.

3. COMPONENTES Y MATERIALES DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

3.1. Componentes de las pilas de combustible: descripción general. Membranas. Electroodos (GDLs y catalizadores). Placas bipolares

4. EL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO

4.1. Características del hidrógeno. Métodos de producción. Métodos de almacenamiento. Cálculos para el hidrógeno como gas real. Predimensionamiento de tanques presurizados.

5. TERMODINÁMICA DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

5.1. Trabajo eléctrico de una pila de combustible internamente reversible. Potencial reversible (ideal) de una pila de combustible. Ecuación de Nernst. Influencia de la presión y de la temperatura en el potencial reversible. Rendimiento.

6. COMPORTAMIENTO REAL DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

6.1. Introducción al funcionamiento real de las pilas de combustible. Voltaje de una pila de combustible. Irreversibilidades. Polarización por activación, óhmica y por concentración. Curva de polarización. Modelo de curva de polarización.

7. ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE DE CARGA EN LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

7.1. Introducción. Movimiento de carga. Transporte de carga en metales. Transporte de carga en electrolitos poliméricos.

8. ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE DE MASA EN LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

8.1. Introducción. Transporte por difusión. Efecto de la concentración sobre el voltaje de Nernst. Efecto de la concentración sobre la velocidad de reacción. Transporte convectivo. Estructura de las placas bipolares.

9. ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE DE CALOR EN LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

9.1. Transferencia de calor. Estudio detallado de la transferencia de calor. Calor transferido al sistema de refrigeración. Calor disipado por convección natural y radiación. Calor transferido al gas.

10. DISEÑO DE PILAS DE COMBUSTIBLE

10.1. Introducción. Placas bipolares. Cálculos preliminares para el dimensionado. Fluidodinámica de un stack. Optimización del diseño. Cálculo de pernos.

11. APLICACIÓN DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE COMO SISTEMA DE PROPULSIÓN DE AERONAVES

11.1. Introducción. Pilas de combustible en UAV. Almacenamiento. Sistemas de propulsión en UAV. Modelos de pila de combustible y atmósfera en vuelo UAV. Ensayos. Conclusiones.

12. APLICACIÓN DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE COMO SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN AERONAVES

12.1. Perspectiva histórica. Aplicaciones de las pilas de combustible en la aviación comercial. Sistemas auxiliares (Balance of Plants). Sustitución del sistema de emergencia. Análisis RAMTS. Análisis de resultados.

13. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

13.1. Estudio de los componentes de una pila PEMFC.

13.2. Determinación de la curva de polarización de pilas de combustible.

5. Cronograma

5.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad tipo 1	Actividad tipo 2	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Panorama energético mundial Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Trabajos en grupo TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 02:00
2	Principio de las pilas de combustible Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Evaluación basada en proyectos: "Diseño preliminar de una pila de combustible" TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 09:00
3	Principio de las pilas de combustible Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Componentes y materiales de las pilas de combustible Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
4	Componentes y materiales de las pilas de combustible Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral El hidrógeno como vector energético Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	El hidrógeno como vector energético Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Termodinámica de las pilas de combustible Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Prácticas de laboratorio Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
6	Termodinámica de las pilas de combustible Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
7	Comportamiento real de las pilas de combustible Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			

8	Estudio de los procesos de transporte de carga en las pilas de combustible Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
9	Estudio de los procesos de transporte de masa en las pilas de combustible Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
10	Estudio de los procesos de transporte de calor en las pilas de combustible Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
11	Diseño de pilas de combustible Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
12	Diseño de pilas de combustible Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
13	Aplicación de las pilas de combustible como sistema de propulsión de aeronaves Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
14	Aplicación de las pilas de combustible como sistema de producción de energía en aeronaves Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Informe: Prácticas de laboratorio TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 02:00
15	Presentación Proyecto "Diseño preliminar de una pila de combustible" Duración: 02:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación			Presentación Proyecto "Diseño preliminar de una pila de combustible" PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00
16				
17				Examen final ordinario EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 04:00 Examen final extraordinario EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 04:00 Informe: Prácticas de laboratorio TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Global No presencial Duración: 00:00

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.

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
1	Trabajos en grupo	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	02:00	10%	0 / 10	CG5 CG6 CG12 CG13 CG14 CG15 CG16 CT1 CT2 CT4 CT5 CT6 CE-SP-1 CE-SP-7 CE-SP-9
2	Evaluación basada en proyectos: "Diseño preliminar de una pila de combustible"	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	09:00	0%	0 / 10	CG1 CG3 CG4 CG5 CG6 CG7 CG8 CG9 CG10 CG11 CG12 CG13 CG14 CG15 CG16 CT1 CT2 CT3 CT4 CT5 CT6 CE-SP-1 CE-SP-7 CE-SP-8 CE-SP-9

14	Informe: Prácticas de laboratorio	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	02:00	10%	0 / 10	CG5 CG6 CG12 CG13 CG14 CG15 CG16 CT1 CT2 CT4 CT5 CT6 CE-SP-1 CE-SP-7 CE-SP-9
15	Presentación Proyecto "Diseño preliminar de una pila de combustible"	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	02:00	80%	0 / 10	CG1 CG3 CG4 CG5 CG6 CG7 CG8 CG9 CG10 CG11 CG12 CG13 CG14 CG15 CG16 CT1 CT2 CT3 CT4 CT5 CT6 CE-SP-1 CE-SP-7 CE-SP-8 CE-SP-9

6.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
							CG1 CG3 CG4 CG5 CG6 CG7 CG8 CG9 CG10

17	Examen final ordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	04:00	90%	0 / 10	CG11 CG12 CG13 CG14 CG15 CG16 CT1 CT2 CT3 CT4 CT5 CT6 CE-SP-1 CE-SP-7 CE-SP-8 CE-SP-9
17	Examen final extraordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	04:00	90%	0 / 10	
17	Informe: Prácticas de laboratorio	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	10%	0 / 10	

6.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

6.2. Criterios de evaluación

Al alumno se le da la posibilidad de realizar el diseño preliminar de una pila de combustible, trabajo que se realizará a lo largo del curso y en grupo, o examinarse de toda la asignatura en el examen final. Se supone por defecto que el alumno opta por realizar evaluación progresiva. En caso de decidir no realizar evaluación progresiva deberá comunicarlo por escrito al coordinador de la asignatura durante las dos primeras semanas lectivas.

Es imprescindible para poder aprobar la asignatura el haber asistido y realizado las prácticas de laboratorio, se opte por realizar evaluación progresiva o no, y además es necesario presentar un informe de las prácticas de laboratorio.

Durante el curso habrá:

- Trabajos en grupo: el peso en la nota final de los trabajos propuestos es del 10%.
- Trabajo basado en Proyecto "Diseño preliminar de una pila de combustible": Los alumnos tendrán que presentar un documento con el trabajo desarrollado, así como proceder a su defensa en público. El peso de esta prueba es del 80%.
- Presentación de informes de prácticas: Los alumnos tendrán que presentar un informe de las prácticas de laboratorio, cuyo peso será del 10% de la nota total.

En caso de no acogerse el alumno a la evaluación progresiva, este deberá realizar un examen final de todo el temario, contando ese examen en un 90% de la nota total, correspondiendo el 10% restante a la calificación del informe de prácticas de laboratorio.

En cualquier caso, para aprobar la asignatura, se deberá obtener una calificación total superior o igual al 50%.

Además se realizarán otra serie de evaluaciones que sin contar para la nota final obtenida por el alumno, servirán para evaluar: el nivel formativo inicial, el tiempo utilizado para realizar las actividades planificadas, las incidencias críticas que puedan presentarse y la satisfacción del alumno con respecto a la asignatura. Para esto se realizarán las siguientes evaluaciones y cuestionarios:

- Evaluación previa: Se elaborará un test o cuestionario previo a la asignatura, con el fin de evaluar el nivel formativo que poseen los alumnos sobre conceptos básicos de los motores alternativos. Esta evaluación es meramente informativa y la nota obtenida no se tiene en cuenta en la nota final obtenida por el alumno. Sin embargo, si tendrá su valoración como participación del alumno.
- Evaluación de tiempo de dedicación: test o cuestionario en el que se solicita al alumno que indique el tiempo utilizado para realizar las actividades planificadas. Esta evaluación es meramente informativa y la nota obtenida no se tiene en cuenta en la nota final obtenida por el alumno. Sin embargo, si tendrá su valoración como participación del alumno.
- Cuestionarios de incidencias críticas (CuIC): test o cuestionario en el que se solicita al alumno que indique de forma breve la incidencia crítica más positiva y más negativa que ha ocurrido durante el último periodo de clases. Esta evaluación es meramente informativa y la nota obtenida no se tiene en cuenta en la nota final obtenida por el alumno. Sin embargo, si tendrá su valoración como participación del alumno.
- Evaluación de satisfacción: Se realizará una evaluación de satisfacción en la que el alumno evalúa

aspectos de contenido, metodológicos, recursos, etc. de la asignatura. Esta evaluación es meramente informativa y su valoración no se tiene en cuenta en la nota obtenida por el alumno.

A modo de resumen, y para la evaluación progresiva, la valoración de cada una de las pruebas es:

Materia a evaluar	% sobre la nota final
Evaluación previa	0
Evaluación del tiempo de dedicación	0
Cuestionarios de incidencias críticas (CuIC)	0
Trabajos en grupo	10
Trabajo basado en proyecto: "Prediseño de una pila de combustible"	80
Informe de prácticas de laboratorio	10

y para el caso de no optar por la evaluación progresiva, la valoración de cada una de las pruebas es:

Material a evaluar	% sobre la nota final
Examen final	90
Informe de prácticas	10

7. Recursos didácticos

7.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Atkins, P.W. "Química Física", 6ª ed ,Omega, D.L., Barcelona 1999.	Bibliografía	
Hoogers, G. "Fuel Cell Technology Handbook", CRC Press, N. Y., 2002.	Bibliografía	
Levine, I. N., "Fisicoquímica", McGraw Hill, 2004.	Bibliografía	
Rock, P. A. "Termodinámica Química", Vicens-Vives S. A., Barcelona 1989.	Bibliografía	
Austin, Reg. "Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment". Wiley, 2010.	Bibliografía	
Barbir, F. "PEM Fuel Cells: Theory and Practice", Elsevier, San Diego, 2005.	Bibliografía	

Breit, J. "Boeing Commercial Airplanes, Systems Concept Center - Fuel Cell APU for Commercial Aircraft".	Bibliografía	
Fuel Cell Handbook, 6º ed., EG&G Technical Services, Inc. Science Applications International Corporation.	Bibliografía	
Fürruter, M. K., Meyer, J. "Small Fuel Cell Powering an Unmanned Aerial Vehicle", IEEE AFRICON, Nairobi, Kenya, 2009.	Bibliografía	
Gou, B. "Fuel Cells. Modeling, Controls and Applications", CRC Press, 2010.	Bibliografía	
Hoogers, G. "Fuel Cell Technology Handbook", CRC Press, N. Y., 2003.	Bibliografía	
Ira N. Levine, "Fisicoquímica", vol. 2, 5ª ed, McGraw-Hill, 2004.	Bibliografía	
Kordesch, Kart, "Fuel cells and their applications", Ed. VCH, 1999.	Bibliografía	
Kulikovsky, A.A. "Analytical Modeling of Fuel Cells", Elsevier, 2010.	Bibliografía	
Larminie, James, "Fuel cell systems explained", Ed. John Wiley & Sons, 2000.	Bibliografía	
Li, Xianguo, "Principles of fuel cells", Ed. Taylor & Francis, 2006.	Bibliografía	
O'Hayre, R. "Fuel Cell Fundamentals", Jonh Wiley & Sons, New York, 2009.	Bibliografía	
Wark, K., Richards, D. E. "Termodinámica", McGraw-Hill, 6ª ed, McGraw-Hill, 2000.	Bibliografía	

Zhao, T.S. "Advances in Fuel Cells", Elsevier, 2007.	Bibliografía	
Espacio MOODLE de la asignatura http://moodle.upm.es/	Recursos web	En esta plataforma se incluyen documentos docentes básicos de la asignatura, enlaces, test de autoevaluación, ejercicios propuestos y resueltos, etc. y se utiliza como método de comunicación de avisos y solución de dudas.
Laboratorio	Equipamiento	En el laboratorio los alumnos dispondrán del material e instrumentos necesarios para realizar las prácticas programadas de la asignatura.

8. Otra información

8.1. Otra información sobre la asignatura

Tanto el "Temario de la asignatura" (punto 4.2), como el "Cronograma de la asignatura" (punto 5) y las "Actividades y criterios de evaluación" (punto 6) podrán sufrir modificaciones en razón del número de alumnos que cursen la asignatura, el desarrollo del curso, etc. Dichas modificaciones se comunicarán oportunamente a los alumnos, y se realizarán con la finalidad de adaptar los medios y métodos de forma más eficiente para el desarrollo del curso. De forma análoga, las prácticas de laboratorio podrán sufrir variaciones dependiendo del número de alumnos y de la disposición de equipos.

Debido a los cambios previstos en el profesorado del departamento, es posible que algunos de los profesores de la asignatura cambien a lo largo dle curso

La asignatura se relaciona con el ODS7, el ODS11 y el ODS13