26-27

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA
CUARTO CURSO

GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA

INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA NUCLEAR DE FUSIÓN

CÓDIGO 68054125

UNED

26-27

INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA NUCLEAR DE FUSIÓN

CÓDIGO 68054125

ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA
EQUIPO DOCENTE
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE
TUTORIZACIÓN EN CENTROS ASOCIADOS
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE
RESULTADOS DE APRENDIZAJE
CONTENIDOS
METODOLOGÍA
SISTEMA DE EVALUACIÓN
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA
IGUALDAD DE GÉNERO

NOMBRE DE LA ASIGNATURA	INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA NUCLEAR DE FUSIÓN
CÓDIGO	68054125
CURSO ACADÉMICO	2026/2027
DEPARTAMENTO	INGENIERÍA ENERGÉTICA
TÍTULO EN QUE SE IMPARTE	GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA
CURSO - PERIODO - TIPO	GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA (PLAN 2026) - CUARTOCURSO - SEMESTRE 2 - OPTATIVAS
CURSO - PERIODO - TIPO	GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA (PLAN 2022) - CUARTOCURSO - SEMESTRE 2 - OPTATIVAS
Nº ETCS	5
HORAS	125.0
IDIOMAS EN QUE SE IMPARTE	CASTELLANO

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura de Introducción a la Energía Nuclear Fusión persigue presentar un campo emergente de la producción eléctrica que aun se encuentra en una fase de investigación. Esta fuente de energía promete una producción de electricidad con un combustible virtualmente ilimitado, intrínsecamente segura y con residuos inocuos. Y de esta manera, en un contexto de crisis energética en ciernes para las próximas décadas, recibe una atención creciente.

A largo de la asignatura se abordarán los conceptos básicos físicos y tecnológicos, así como los principales de dispositivos para liberar la energía nuclear de fusión y sus características. A continuación, se analizarán en mayor detalle y se abordarán los matices relacionados con las promesas asociadas a esta fuente de energía, así como las perspectivas futuras.

Por tanto, en unos temas iniciales se hace un recorrido por los fundamentos físicos de la fusión nuclear y de la física de plasmas. A continuación, se presentan los dispositivos más destacados asociados a la creación de plasmas de fusión, tanto por confinamiento magnético, como por confinamiento inercial. Desde esta manera quedan cubiertos los fundamentos de los Tokamaks, Stellarators y de los disposición de ignición láser y por iones.

En los siguientes temas se abordan, uno por uno, y con una perspectiva marcadamente nuclear y radiológica los aspectos tecnológicos de la disponibilidad y gestión del combustible de la fusión, así como las implicaciones de seguridad y gestión de residuos radiactivos. Se pretende dotar al alumno de una visión crítica de esta fuente de energía por comparación con la otra fuente energía nuclear, la fisión.

Desde esta compresión, en el último tema se presentan las líneas de investigación que se consideran críticas, a día de hoy, para desplegar la fusión nuclear como fuente de energía, como son los superconductores de alta temperatura, los láseres excímeros, y el desarrollo

de materiales que resistan las condiciones de radiación esperadas. Se explican, asimismo, las diferentes hojas de ruta previstas para el despliegue de esta fuente de energía.
Así, esta asignatura representa una visión general con espíritu crítico de la energía nuclear de fusión que dote al alumno a una comprensión del estado del arte, la promesas y retos de esta fuente de energía. Busca también llevar al alumno a una posición desde la que poder abordar en profundidad, más adelante en su carrera, diferentes aspectos de la fusión nuclear si fuera de su interés.

REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA

Los conocimientos de física, cálculo, ecuaciones diferenciales e ingeniería nuclear que el alumno habrá adquirido cursando las asignaturas obligatorias del Grado en Ingeniería de la Energía.

EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	RAFAEL IGNACIO JUAREZ MAÑAS (Coordinador/a de asignatura)
Correo Electrónico	rjuarez@ind.uned.es
Teléfono	91398-8223
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	INGENIERÍA ENERGÉTICA

Nombre y Apellidos	FRANCISCO M OGANDO SERRANO
Correo Electrónico	fogando@ind.uned.es
Teléfono	91398-8223
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	INGENIERÍA ENERGÉTICA

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

La tutorización se realizará fundamentalmente en línea, mediante la participación en los Foros de Debate de la plataforma virtual, si bien también pueden enviarse desde esta misma plataforma correos personales a los distintos profesores del equipo docente.
Además, el equipo docente de la asignatura tiene asignados unos días y horarios de guardia donde el alumno podrá contactar personalmente o por teléfono con los profesores y consultarles lo que considere oportuno para resolver las dudas que se le planteen en el estudio de la asignatura. Al final se da la información para contactar con los profesores, indicando en cada bloque temático el profesor responsable. También podrán hacerse consultas en otros días y horarios cuando sea posible mediante acuerdo previo del estudiante con el profesor.
En caso de comunicación por correo postal, la dirección de envío es la siguiente (precedida del nombre del profesor correspondiente):
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
E.T.S.I. Industriales

Departamento de Ingeniería Energética
C/ Juan del Rosal 12
28040 Madrid

D. Rafael Juárez Mañas
Horario de guardia: Jueves de 10 a 14 horas
Teléfono: 913988223
Despacho: 0.15
Correo electrónico: rjuarez@ind.uned.es

Profesor: D. Francisco Ogando Serrano
Horario de guardia: Martes y Jueves de 16 a 18h
Teléfono: 913989940
Despacho: 0.15
Correo electrónico: fogando@ind.uned.es

TUTORIZACIÓN EN CENTROS ASOCIADOS

En el enlace que aparece a continuación se muestran los centros asociados y extensiones en las que se imparten tutorías de la asignatura. Estas pueden ser:

•**Tutorías de centro o presenciales**: se puede asistir físicamente en un aula o despacho del centro asociado.

•**Tutorías campus/intercampus**: se puede acceder vía internet.

Consultar horarios de tutorización de la asignatura 68054125

COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

Competencias básicas y generales

CB1- Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio

CB2- Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio

CB3- Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética

CB4- Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado

CB5- Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje

necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía
CG03- Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.
CG04- Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial en el ámbito de la Energía
CG07- Capacidad de analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas.

Competencias específicas

CEB01- Capacidad para la resolución de los problemas matemáticos que puedan plantearse en la ingeniería. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre: álgebra lineal; geometría; geometría diferencial; cálculo diferencial e integral; ecuaciones diferenciales y en derivadas parciales; métodos numéricos; algorítmica numérica; estadística y optimización.
CEB02- Comprensión y dominio de los conceptos básicos sobre las leyes generales de la mecánica, termodinámica, campos y ondas y electromagnetismo y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.
CEC10- Conocimientos básicos y aplicación de tecnologías medioambientales y sostenibilidad.
CFC02- Ampliación de conocimientos aplicados sobre cálculo diferencial e integral.
CFC03- Ampliación de contenidos sobre las leyes generales de la mecánica y campos y ondas y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.
CFC04- Conocimientos de ingeniería nuclear.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

CO32. Conocimientos y capacidades para aplicar los fundamentos científicos y tecnológicos de la energía fusión nuclear.

CONTENIDOS

Presentación

El contenido de la asignatura cubre los siguientes puntos:

- Posibilidades para la producción de energía por reacciones de fusión.
- Elementos tecnológicos de un reactor de fusión nuclear genérico
- Principios físicos, funcionamiento y distintos conceptos de reactores de fusión por confinamiento inercial
- Principios físicos, funcionamiento y distintos conceptos de reactores de fusión por confinamiento magnético.
- Instalaciones experimentales para el desarrollo de las tecnologías de la energía de fusión nuclear

•Sinergias entre las tecnologías avanzadas de fisión y fusión nuclear

La asignatura consta de una parte teórica dividida en dos bloques; y de pruebas de evaluación continua (PEC), pensadas para que los estudiantes puedan contrastar su proceso de asimilación de la asignatura, así como elemento de seguimiento y evaluación del proceso de aprendizaje.

Seguidamente se presentan los contenidos de la parte teórica que cubren los contenidos:

Bloque 1. Ciencia de la fusión nuclear: Temas 1 a 3

Bloque 2. Tecnologías de la fusión nuclear: Temas 4 a 9

1. Introducción

1.1 Reacciones de fusión nuclear
1.2 Tasa de reacciones y criterio de Lawson
1.3 Concepto de una planta de fusión nuclear

2. Qué es un plasma

2.1 Un gas ionizado
2.2 Los plasmas son cuasi-neutros
2.3 Derivación elemental de la distribución de Boltzmann
2.4 Densidad de plasma en un potencial electrostático
2.5 Blindaje de Debye
2.6 Contorno plasma-sólido
2.7 Grosor de la vaina
2.8 El parámetro del plasma
2.9 Resumen

3. Movimiento de partículas cargadas en campos

3.1 Campo B uniforme, E=0
3.2 B uniforme y E distinto de cero
3.3 Campo B no-uniforme
3.4 Deriva de curvatura
3.5 Interludio: confinamiento toroidal de una partícula individual
3.6 El efecto espejo de gradientes paralelos de campo
3.7 Campo B variable en el tiempo
3.8 Campo E variable en el tiempo
3.9 E no-uniforme
3.10 Resumen de las derivas

4. Fusión por confinamiento magnético - ITER

4.1 Imanes
4.2 Vasija de vacío
4.3 Criostato
4.4 Manto
4.5 Divertor
4.6 Refrigeración por agua
4.7 Diagnósticos
4.8 Manipulación remota
4.9 Calentamiento externo
4.10 Mitigación de disrupciones
4.11 El desafío de la radiación en ITER

5. Fusión por confiamiento inercial

5.1 Física
5.2 Evolución de los dispositivos
5.3 Flujos procedentes del blanco de fusión
5.4 Condicionantes en el vacío de la cámara
5.5 Diseños de cámaras de reacción
5.6 Conclusiones

6. Ciclo de combustible DT

6.1 Estrategias de abastecimiento de tritio
6.2 El papel del litio
6.3 Breeders
6.4 Conceptos europeos de mantos reproductores

7. Otros ciclos de combustible

7.1 DD en ciclo abierto
7.2 D3He en ciclo abierto
7.3 Ciclo cerrado DD + D3He
7.4 Fusión con spin polarizado
7.5 Fusión catalizada

8. Fuentes de radiación en ITER

8.1 Fuentes de radiación inmediata
8.2 Fuentes de radiación retardadas

9. Retos y perspectivas

9.1 Superconductividad de alta temperatura
9.2 Láser excímero
9.3 Materiales para la fusión
9.4 Hojas de ruta

METODOLOGÍA

Las actividades de aprendizaje se distribuyen entre el trabajo autónomo, trabajo con contenidos teóricos y prácticos y realización de actividades de evaluación.
El trabajo autónomo consiste en una serie de actividades que el alumno debe desarrollar de manera individual. Incluye el estudio de apuntes proporcionado por el equipo docente, resolución de ejercicios, y el visionado y lectura de material de apoyo.
El trabajo con contenidos prácticos se centra en la realización de las PEC, así como en la participación en los foros, que ofrecen un canal de comunicación fluido y permanente con el equipo docente, y también con el resto de alumnos
La realización de actividades de evaluación comprende dos tipos de actividades. Por un lado, las pruebas de evaluación continua (PEC). Tienen carácter obligatorio y se realizarán paulatinamente a lo largo del curso. Están pensadas para que los estudiantes puedan contrastar su proceso de asimilación en cada uno de los bloques en que se estructura la asignatura. Por otra parte, la prueba presencial personal (examen) será el indicador del nivel global de asimilación alcanzado por el estudiante al finalizar el periodo de aprendizaje de la asignatura. La evaluación de la asignatura se apoyará en ambas pruebas.
La distribución orientativa de estas actividades con arreglo al número de horas de trabajo del total de créditos, se estima de forma aproximada que sea la siguiente:

Actividades formativas	**Porcentaje de horas de trabajo**
Trabajo autónomo •Estudio de apuntes •Resolución de ejercicios •Asimilación material de apoyo	72% (90 horas)
Trabajo con contenidos prácticos •Participación en los foros	24% (10 horas)

Realización de actividades de evaluación •Pruebas de evaluación continua (PEC) •Prueba de evaluación	 20% (25 horas)

SISTEMA DE EVALUACIÓN

TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen: Examen de desarrollo

Preguntas desarrollo: 6

Duración del examen: 120 (minutos)

Material permitido en el examen

Calculadora no programable

Criterios de evaluación

El examen consistirá en 1 o 2 preguntas de cada uno de los 2 bloques. Ambos bloques computarán un 50% en la nota del examen.

% del examen sobre la nota final: 80

Nota del examen para aprobar sin PEC: 5

Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC: 5

Nota mínima en el examen para sumar la PEC: 5

Comentarios y observaciones

No es posible aprobar la asignatura sin haber realizado las PEC con una calificación mínima de 5 en cada una de ellas. Con independencia de la nota en el examen.

El número de preguntas de examen es orientativo, puede variar ligeramente en cada examen.

PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC?: Si

Descripción

Las pruebas de evaluación continua tienen carácter obligatorio y se recomienda realizarlas paulatinamente a lo largo del curso. Están pensadas para que los estudiantes puedan contrastar su proceso de asimilación en cada uno de los bloques en que se estructura la asignatura. El estudiante debe realizar dos PECs, correspondientes a cada uno de los bloques.

Criterios de evaluación

Se debe obtener una nota igual o superior a 5 puntos en las PEC para poder aprobar la asignatura.

Las PEC de ambos bloques computarán un 50% en la nota total de las PEC.

Ponderación de la PEC en la nota final: 20%

Fecha aproximada de entrega: 15/05/2027

Comentarios y observaciones

Los enunciados de las PECs se harán disponibles para los estudiantes mediante la plataforma virtual durante el curso.

La fecha de entrega se notificará a la vez que se distribuya el enunciado.

Posteriormente a la calificación de la asignatura en convocatoria ordinaria se abrirá de nuevo el plazo de entrega de las PEC para la convocatoria de septiembre, con la fecha aproximada de entrega del 28/08/2027.

OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s? No

Descripción

Criterios de evaluación

Ponderación en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?

La evaluación de la asignatura se realizará en función de las siguientes actividades, todas ellas obligatorias.

Prueba Presencial (PruP).

Pruebas de Evaluación Continua (PEC).

La nota final de la asignatura se calcula de acuerdo a los siguientes criterios:

La asignatura se aprueba si se obtiene una calificación global igual o superior a cinco, pero además se fija como condicionante adicional para la superación de la misma, el haber obtenido un mínimo de 5 puntos sobre 10 en cada una de las anteriores actividades.

Si se supera el condicionante mencionado, el cálculo de la nota final de la asignatura se hace de acuerdo a la siguiente fórmula:

Nota (final) = 0,2 ×PEC + 0,8 ×PruP

Si la nota del examen es menor que 4 la nota final en las actas será la nota del examen, sin ponderar con las otras actividades.

La nota asociada a cualquier actividad se puntúa de 0 a 10.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Para la preparación de la asignatura se utilizará como texto base:

Título: Introducción a la Fusión Nuclear

Autores: R. Juárez, F. Ogando

Descripción: Este texto se pondrá a disposición para este curso académico en formato electrónico en el curso virtual. El libro está escrito y revisado por el equipo docente, está estructurado con los mismos temas que constituyen los contenidos de la asignatura. Es un texto pensado para estudiantes que por vez primera se enfrentan a cuestiones relacionadas con la fusión nuclear, habiendo cursado previamente la asignatura de Fundamentos de

Ingeniería Nuclear del Grado en Ingeniería de la Energía, o similar.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

La bibliografía complementaria que se cita a continuación no es necesaria para el aprendizaje de la asignatura, pero sí es recomendable para ampliar la cultura nuclear sobre los temas que se tratan en la asignatura.

El libro **Curso Básico de Fusión Nuclear** cubre a un nivel introductorio todos los conceptos tratados en este asignatura y sirve de apoyo y complemento a los apuntes. Está disponible online en la dirección: httpss://www.jovenesnucleares.org/blog/wp-content/uploads/2017/10/Libro-JJNN-CBFN-version_digital.pdf

El libro ***Principles of Fusion Energy*** se trata de un manual de referencia en la fusión nuclear que cubre todos los aspectos más importantes con un nivel de profundidad y un aparato matemático mayor que el que se plantea en la bibliografía básica.

En el libro ***Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*** se trata de un texto avanzado de física de plasmas para los alumnos que deseen profundizar en este tema.

RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Texto base:

El texto base que ha de utilizarse para asimilar esta asignatura tiene como objetivo hacer una revisión de los fundamentos físicos y tecnológicos de los dispositivos para la explotación de la fusión nuclear como fuente de energía, así como las implicaciones de seguridad e impacto medioambiental.

Curso virtual:

Es fundamental para el desarrollo de la asignatura que el alumno utilice su curso virtual. Cualquier material complementario adicional que se pueda publicar o aconsejar se encontrará en dicha Plataforma. El alumno puede enviar sus consultas a los distintos foros de debate, o por correo electrónico a la atención de cualquiera de los profesores de la asignatura.

En el curso virtual estarán a disposición de los alumnos, entre otros: materiales de apoyo para el estudio de los bloques, que podrán incluir además material multimedia o vínculos a materiales producidos por el equipo docente o de interés para la asignatura un calendario para las PECs.

IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.