

SEGURIDAD E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE INSTALACIONES DE FUSIÓN NUCLEAR

Curso 2015/2016

(Código: 28801119)

1. PRESENTACIÓN

Dentro de las posibilidades de disponer de una fuente de energía aceptable desde el punto de vista de la sostenibilidad, la Fusión Nuclear se presenta como una de las alternativas que goza de mayor atractivo y consideración a nivel de investigación y desarrollo dentro del panorama energético mundial. Las dos vías en que se centran los esfuerzos para lograr explotar la energía nuclear de fusión como fuente de energía son la fusión por confinamiento magnético (FCM) y la fusión por confinamiento inercial (FCI).

Para el desarrollo de la fusión nuclear es clave demostrar no sólo la viabilidad de la ganancia energética de los procesos de fusión, sino también, que el funcionamiento de las futuras plantas de fusión será aceptable por el entorno social. A este respecto destacan especialmente tres aspectos prácticos:

- Seguridad para los trabajadores de las plantas.
- Gravedad de potenciales accidentes con emisión de efluentes radiactivos.
- Generación de residuos radiactivos.

En esta asignatura se analizan y responden en profundidad dos de las grandes cuestiones de la tecnología de fusión: su potencialidad en lo que respecta a seguridad e impacto medioambiental y la gestión de residuos radiactivos.

2. CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura "Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear", es una de las tres asignaturas ofertadas por el Departamento de Ingeniería Energética para el itinerario de mismo nombre en el Máster Universitario en Investigación en Tecnologías Industriales.

La asignatura viene a completar y ampliar los conocimientos adquiridos por los alumnos durante sus estudios de grado sobre ciencia e Ingeniería Nuclear, tratando un tema clave de lo que se espera sea la nueva tecnología nuclear: la tecnología nuclear de fusión y bajo la perspectiva de investigar su potencialidad como fuente de energía segura y respetuosa con el medioambiente. En ella se pretende, fundamentalmente, que el alumno adquiera los conocimientos específicos que le permitan su formación para abordar actividades de investigación en el campo de la seguridad, radioprotección y gestión de residuos de las centrales e instalaciones experimentales de fusión nuclear, y también aunque en menor extensión, de las instalaciones de irradiación concebidas para el desarrollo de materiales de las centrales de fusión.

El aprendizaje de esta asignatura va a permitir abordar con garantía la posible realización del trabajo fin de máster (Módulo 4) y futura tesis doctoral en dos de las líneas de investigación que se ofertan en este Posgrado, y en las que el equipo docente es responsable de distintas actividades dentro de Programas Internacionales. Estas son:

- Seguridad e impacto medioambiental en el diseño de instalaciones experimentales y en plantas conceptuales nucleoelectricas de fusión.



- Protección radiactiva y seguridad en el diseño de aceleradores de alta intensidad destinados a simular el daño por irradiación de materiales en reactores de fusión nuclear.

La relevancia de la investigación sobre la Energía de Fusión Nuclear y su potencialidad en cuanto a seguridad e impacto medioambiental reducido, y por tanto de los contenidos de esta asignatura que es hacia donde van dirigidos, se pone de manifiesto en las líneas de actuación de la Unión Europea dentro de sus programas marco. La justificación del programa se puede fundamentar en las consideraciones que a continuación comentamos.

El abastecimiento energético de Europa adolece de graves deficiencias tanto a corto como a medio y largo plazo. En particular, se requieren medidas que aborden los problemas de la seguridad de abastecimiento, el cambio climático y el desarrollo sostenible, sin poner en peligro el futuro crecimiento económico.

La estrategia para alcanzar este objetivo a largo plazo implica, como primera prioridad, la construcción del **ITER** (una gran instalación experimental que demostrará la viabilidad científica y técnica de la energía de fusión), seguida de la construcción de la DEMO, una central eléctrica de fusión con fines de «demostración». Este trabajo irá acompañado de un programa dinámico de apoyo a la I+D para el ITER y para los materiales de fusión, las tecnologías y la física que requiere la DEMO. En esta labor participarían la industria europea, las asociaciones de la fusión y los países no comunitarios, especialmente las partes en el Acuerdo ITER.

Por lo que respecta a las actividades para preparar el reactor DEMO, se dice que con ellas se trata de dar un fuerte impulso al desarrollo de los materiales de fusión y las tecnologías clave en este campo, incluidos los mantos, así como de establecer un equipo de proyecto especializado que prepare la construcción de la Instalación Internacional de Irradiación de Materiales (International Fusion Materials Irradiation Facility, **IFMIF**) para cualificar los materiales destinados a la DEMO. Se incluyen aquí pruebas de irradiación y modelización de materiales, así como estudios sobre el diseño conceptual de la DEMO, y sobre los aspectos de seguridad, medioambientales y socioeconómicos de la energía de fusión.

Es aquí donde el campo de los aceleradores de alta intensidad, como el caso de IFMIF, entran de lleno en el campo de la fusión nuclear. Estos aceleradores presentan problemas propios de radioprotección, que también son tratados en el ámbito de esta asignatura.

El equipo docente de esta asignatura pertenece al grupo de investigación de tecnologías de fisión fusión y fuentes de irradiación (TECF3IR) de la UNED. Este grupo realiza tareas de investigación y desarrollo en radioprotección de instalaciones de fusión nuclear y aceleradores, participando oficialmente en proyectos tan prestigiosos como el reactor ITER o la instalación de irradiación IFMIF.

Se puede conseguir más información sobre el grupo TECF3IR a través de estos enlaces:

- [Páginas oficiales UNED.](#)
- [Vídeo de presentación confeccionado por el CEMAV del a UNED.](#)

3. REQUISITOS PREVIOS RECOMENDABLES

Para iniciar el estudio del curso son necesarios conocimientos de ciencia y tecnología nuclear a nivel fundamental. Si dichos conocimientos previos son limitados, debe consultarse con el equipo docente para recibir orientaciones precisas que permitan enfocar el estudio de forma adecuada, y en su caso estudiar durante el curso algún tema de apoyo.

Es recomendable tener conocimientos suficientes para lectura en inglés técnico

4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los objetivos de la asignatura son los siguientes:

- Conocimiento de la física básica asociada a las diferentes soluciones (FCI y FCM) propuestas para la explotación de las reacciones de fusión como fuente de energía.
- Fundamentar la potencialidad de la fusión nuclear en lo que respecta a la seguridad operacional, el impacto medioambiental y la seguridad física a la no proliferación.
- Descripción funcional de los distintos sistemas que integran las instalaciones experimentales y diseños



conceptuales de centrales eléctricas de fusión asociadas a las dos vías propuestas (FCI y FCM) par el desarrollo tecnológico de la energía de fusión nuclear.

- Saber fundamentar la definición de objetivos de la fusión nuclear con respecto a la seguridad y el impacto medioambiental.
- Entender el efecto de la selección de materiales en la consecución de centrales eléctricas de fusión seguras y respetuosas con el medioambiente.
- Entender el origen, cantidad y nivel de radiotoxicidad de los residuos generados en las instalaciones experimentales y diseños conceptuales de centrales eléctricas de fusión.
- Entender el origen y niveles de dosis asociadas a las situaciones accidentales más severas que pudieran concebirse en las instalaciones experimentales y diseños conceptuales de centrales eléctricas de fusión.
- Conocimiento básico de la problemática de seguridad, protección radiológica y generación de residuos en el diseño de reactores de fusión tipo ITER.
- Comprender cómo se integran los diferentes elementos (programas y bases de datos) computacionales constituyentes de la metodología de cálculo a utilizar en la evaluación de la seguridad, impacto medioambiental y radioprotección de instalaciones y centrales de fusión nuclear y de aceleradores de alta intensidad tipo EVEDA/IFMIF concebidos para desarrollo de materiales de reactores de fusión.

Objetivos de aprendizaje

En esta asignatura se pretende, fundamentalmente, que el alumno adquiera los conocimientos específicos que le permitan su formación para abordar actividades de investigación en el campo de la seguridad, radioprotección y gestión de residuos de las centrales e instalaciones experimentales de fusión nuclear, y también aunque en menor extensión, de las instalaciones de irradiación concebidas para el desarrollo de materiales de las centrales de fusión. A partir de este objetivo básico, se establecen los tres objetivos puntuales que a continuación se exponen y enlazan de forma secuencial.

Primeramente se pretende que el alumno adquiera un grado de comprensión adecuado sobre la física inherente al funcionamiento de una central de fusión nuclear, sea del tipo FCI o FCM, y fundamentalmente llegue a asimilar cuales son los principales problemas que habrá que resolver para hacer de la fusión nuclear una fuente de energía competitiva y aceptable a nivel social. En segundo lugar, se pretende que el alumno llegue a ser capaz de comprender, plantear y analizar cuáles son los problemas fundamentales de la fusión en lo que respecta a las cuestiones de seguridad e impacto medioambiental, y las posibles estrategias que se plantean para su solución. Dentro de ellas se encuentra la de desarrollar materiales de baja activación resistentes al daño neutrónico, lo que precisa el uso y diseño de nuevas instalaciones de irradiación, cuya problemática de seguridad, radioprotección y generación de residuos debe ser planteada y conocida. De esta forma se pretende que el alumno asimile el estado actual de la investigación y desarrollo en estas áreas de la tecnología de la fusión nuclear, y las metas a las que se quiere llegar. Finalmente, con el tercer objetivo se pretende que el alumno conozca como se abordan los problemas del análisis de seguridad, radioprotección y de producción y gestión de residuos radiactivos haciendo uso de la simulación computacional. También se pretende que el alumno adquiera destreza en la utilización de alguno de los programas de simulación numérica integrados dentro de la metodología computacional diseñada para análisis de seguridad y radioprotección. La aplicación se hará sobre instalaciones de fusión nuclear propiamente dichas, o sobre la instalación de irradiación neutrónica IFMIF. El programa de la asignatura se ha elaborado en función de los objetivos indicados.

5.CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

BLOQUE 1. Fundamentos de la fusión nuclear, y descripción de los tipos de instalaciones concebidas para la explotación de la energía nuclear de fusión.

Tema 1. Fundamentos físicos de la fusión termonuclear controlada: Fusión por confinamiento magnético e inercial.

Tema 2. Centrales eléctricas de fusión. Aspectos generales y motivación para el estudio de la seguridad e impacto medioambiental.

Tema 3. Fusión por confinamiento magnético (FCM). Descripción de centrales eléctricas e instalaciones experimentales (ITER).

Tema 4. Fusión por confinamiento inercial (FCI). Descripción de centrales eléctricas e instalaciones experimentales (NIF, LMJ).



BLOQUE 2. Materiales para la obtención de centrales eléctricas de fusión seguras, respetuosas con el medio ambiente y económicamente viables.

Tema 5. Diseño de centrales de fusión seguras y respetuosas con el medioambiente: definición de objetivos y estrategias para su consecución.

Tema 6. Desarrollo de materiales. Activación reducida, resistencia al daño neutrónico y necesidad de la instalación de irradiación EVEDA-IFMIF.

BLOQUE 3. Evaluaciones de seguridad e impacto medioambiental de las instalaciones de fusión nuclear y de la instalación singular para desarrollo de materiales EVEDA-IFMIF.

Tema 7. Evaluación del impacto medioambiental en instalaciones FCM: caracterización de los residuos radiactivos generados en diseños conceptuales de planta de potencia y en la instalación experimental ITER.

Tema 8. Evaluación del impacto medioambiental en instalaciones FCI: caracterización de los residuos radiactivos generados en diseños conceptuales de planta de potencia y en la instalación experimental NIF.

Tema 9. Evaluación de la seguridad en instalaciones FCM: fenomenología más relevante en plantas conceptuales de potencia y en la instalación experimental ITER.

Tema 10. Evaluación de la seguridad en instalaciones FCI: fenomenología más relevante en plantas conceptuales de potencia y en la instalación experimental NIF.

Tema 11. Evaluación de la seguridad y protección radiológica de la instalación para desarrollo de materiales EVEDA-IFMIF: descripción de la fenomenología relevante.

BLOQUE 4. Metodología computacional para análisis de seguridad, impacto medioambiental y protección radiológica en reactores de fusión nuclear tipo ITER.

Tema 12. Metodología computacional para análisis de seguridad y gestión de residuos en centrales e instalaciones experimentales de fusión nuclear.

Prácticas de simulación a distancia vía Internet.

Las prácticas de simulación a distancia vía Internet se orientan fundamentalmente a que el alumno se familiarice con el diseño de blindajes y comprenda su enorme utilidad en el diseño de cualquier tipo de instalación nuclear.

6.EQUIPO DOCENTE

- [FRANCISCO M. OGANDO SERRANO](#)
- [JAVIER SANZ GOZALO](#)
- [RAFAEL JUAREZ MAÑAS](#)

7.METODOLOGÍA

La metodología de aprendizaje se basa en el modelo de educación a distancia de la UNED. Las actividades formativas están basadas principalmente en la interacción con el Equipo Docente y el trabajo autónomo de los estudiantes. El equipo docente proporcionará orientaciones y material de apoyo para el estudio de la asignatura y atenderán las consultas que planteen los alumnos. El trabajo autónomo estará marcado por una serie de actividades de aprendizaje, tales como el estudio de contenidos teóricos y la realización de pruebas de evaluación continua, prácticas virtuales de laboratorio y pruebas presenciales.

El alumno dedicará aproximadamente un 60% de la duración del curso a la lectura comprensiva del material de estudio de la asignatura. Durante el desarrollo del curso el estudiante deberá entregar una o más pruebas de evaluación a distancia y prácticas virtuales que supondrán alrededor del 30% del tiempo de estudio. Un 10% de la asignatura se dedicará a la preparación específica del examen presencial.



El marco en el que se desarrollará el curso será el curso virtual, que será la herramienta principal de comunicación entre los estudiantes y el equipo docente y de los estudiantes entre sí. A través de esta plataforma virtual el estudiante tendrá acceso principalmente a los siguientes elementos de apoyo:

1. El módulo de contenidos, en el que se pondrán a disposición de los estudiantes unos apuntes complementarios sobre mecánica de fluidos y una Guía de Estudio en la que se recogerán recomendaciones sobre el estudio de la asignatura y toda la información necesaria actualizada.
2. Prueba de evaluación continua, que constará de una serie de cuestiones teórico-prácticas que permitirá al estudiante hacer un seguimiento de su progreso en la adquisición y asimilación de conocimientos y servir de medio de evaluación junto con la prueba presencial.
3. Prácticas virtuales de simulación, en las que se propondrán unos problemas que deberán resolverse con la ayuda de las herramientas de simulación remota del área de ingeniería nuclear.
4. Los foros de debate, en los que el estudiante podrá ir planteando las dudas que le vayan surgiendo en el estudio de los contenidos de la asignatura, y en los que recibirá las correspondientes aclaraciones por parte del equipo docente. Los estudiantes también podrán participar en los foros contestando cuestiones formuladas por sus compañeros.

8. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

LIBRO ACTUALMENTE NO PUBLICADO

ISBN(13):

Título: SEGURIDAD E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE INSTALACIONES DE FUSIÓN NUCLEAR. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y APLICACIONES

Autor/es: J. Sanz ;

Editorial: Universidad Nacional de Educación a Distancia, Departamento de Ingeniería Energética, Ingeniería Nuclear, Noviembre 2002. Rev. Oct. 2007

Comentarios y anexos:

Libro:

J. Sanz, "Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear. Metodología de análisis y aplicaciones" (2007).

Apuntes:

R. Juárez, F. Ogando, "Problemas neutrónicos en la instalación ITER" (en continuo desarrollo).

Los textos que sean necesarios para la preparación del examen se encontrarán disponibles en la plataforma virtual para la descarga por parte de los estudiantes.

9. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Comentarios y anexos:

Fusión por confinamiento magnético

- <https://www.euro-fusion.org/>
- <http://www.iter.org/>
- <http://fusionsites.ciemat.es>
- <http://www.ccf.ac.uk/JET.aspx>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/ITER>

Fusión por confinamiento inercial



- <https://lasers.llnl.gov>
- http://en.wikipedia.org/wiki/National_Ignition_Facility

Material audiovisual propio

- [Lección "Protección radiológica en aceleradores de alta intensidad"](#).

10. RECURSOS DE APOYO AL ESTUDIO

El principal medio de apoyo es el curso virtual, cuyo acceso se realiza a través del Campus UNED, utilizando el nombre de usuario y la clave que se facilitaron tras realizar la matrícula. En el curso virtual se incluyen foros de debate, anuncios y una guía de estudio de la asignatura.

Como parte de la asignatura se realizarán prácticas virtuales de radioprotección. Para ello se contará con los computadores de simulación del área de ingeniería nuclear, con los que se interactuará a través de internet mediante el navegador.

11. TUTORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO

D. Francisco Ogando

Jueves de 16a 20 h.

ETSII despacho 0.15

Tel.: 91 398 8223

Correo electrónico: fogando@ + ind.uned.es

D. Javier Sanz

Martes, de 16 a 20 h.

ETSII despacho 2.18

Tel.: 91 398 6463

Correo electrónico: jsanz@ + ind.uned.es

D. Patrick Sauvan

Jueves, de 16 a 20 h.

ETSII despacho 0.16

Tel.: 91 398 8731

Correo electrónico: psauvan@ + ind.uned.es

12. EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

Las actividades evaluables consistirán en una prueba presencial, pruebas de evaluación continua, y prácticas virtuales de simulación. Las características de los distintos elementos de evaluación se establecerán al comienzo del curso y podrán consultarse en el curso virtual de la asignatura.

La asignatura se aprueba si se obtiene una calificación igual o superior a cinco, pero además se fija como condicionante adicional para la superación de la misma, el que se ha de obtener un mínimo de 4 puntos sobre 10 en cada una de las tres



actividades de carácter obligatorio, esto es: prácticas de simulación a vía Internet, pruebas de evaluación continua y prueba presencial personal.

La contribución de cada actividad en la nota final es:

- Prueba presencial: 30%
- Prueba de evaluación continua: 50%
- Prácticas virtuales: 20%

13.COLABORADORES DOCENTES

Véase equipo docente.

