

SEGURIDAD E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE INSTALACIONES DE FUSIÓN NUCLEAR

Curso 2014/2015

(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 compatible/aceptable por el entorno social. A este respecto destacan especialmente tres aspectos prácticos:

- Generación de residuos radiactivos.
- Gravedad de potenciales accidentes con emisión de efluentes radiactivos.
- Implicaciones del uso de la técnica en la proliferación armamentística.

En esta asignatura se responde/analizan en profundidad dos de las grandes cuestiones de la tecnología de fusión: su potencialidad en lo que respecta a seguridad e impacto medioambiental/gestión de residuos radiactivos. La cuestión de proliferación, también se tratará, pero dedicando a ella un reducido contenido del programa, dado que en este caso se precisan unas pocas reflexiones para llegar a conclusiones definitivas.

2.CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura "Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear", optativa del Programa Oficial de Posgrado en Investigación en Tecnologías Industriales, es una de las tres asignaturas ofertadas desde el Departamento de Ingeniería Energética dentro del itinerario denominado también Ingeniería Energética.

La asignatura viene a completar y ampliar los conocimientos adquiridos por los alumnos durante sus estudios de grado sobre ciencia e Ingeniería Nuclear, tratando el 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.

Las asignaturas del primer módulo del Master son también de gran importancia para su desarrollo, dado el doble carácter de esta signatura: teórica dentro del campo general de la seguridad e impacto medioambiental, e introductoria a la aplicación de la simulación numérica a las tareas de investigación en el área de la seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear.



Las principales competencias que se pretende que adquieran los estudiantes son las siguientes:

1. Conocimientos para entender la problemática asociada al logro de centrales nucleoelectricas de fusión aceptables socialmente.
2. Identificar y diferenciar las metas y soluciones planteadas sobre la obtención de centrales de fusión seguras y respetuosas con el medioambiente.
3. Conocer las técnicas de simulación e instalaciones de experimentación empleadas en la investigación y desarrollo para el logro de centrales de fusión seguras y de reducido impacto medioambiental.
4. Capacidad de identificación de necesidades y demandas de desarrollo e innovación.
5. Capacidad de análisis de información científica y técnica.
6. Capacidad de síntesis de información científica y técnica.
7. Conocimiento de los métodos y técnicas de investigación científica y desarrollo tecnológico.
8. Destrezas en la aplicación de técnicas de simulación computacional.
9. Destrezas en la búsqueda y gestión bibliográfica y documental.
10. Capacidad de planificación de actividades de investigación.
11. Capacidad de razonamiento crítico.
12. Destrezas en la búsqueda y gestión bibliográfica y documental.
13. Capacidad de planificación de actividades de investigación.
14. Capacidad de razonamiento crítico.
15. Habilidades para la elaboración y exposición de informes científicos.
16. Capacidad de aplicar conocimientos a la realización futura del trabajo de investigación del Máster y de la Tesis Doctoral.

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.



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:

1. Conocimiento de la física básica asociada a las diferentes soluciones (FCI y FCM) propuestas para la explotación de la reacciones de fusión como fuente de energía.
2. 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.
3. Descripción funcional de los distintos sistemas que integran las instalaciones experimentales y diseños conceptuales de centrales nucleoelectricas de fusión asociadas a las dos vías propuestas (FCI y FCM) par el desarrollo tecnológico de la energía de fusión nuclear.
4. Saber fundamentar la definición de objetivos de la fusión nuclear con respecto a la seguridad y el impacto medioambiental.
5. Entender el efecto de la selección de materiales en la consecución de centrales nucleoelectricas de fusión seguras y respetuosas con el medioambiente.
6. Entender el papel de los aceleradores de alta intensidad tipo EVEDA/IFMIF en el desarrollo de materiales para los reactores de fusión.
7. Entender el origen, cantidad y nivel de radiotoxicidad de los residuos generados en las las instalaciones experimentales y diseños conceptuales de centrales nucleoelectricas de fusión.
8. 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 nucleoelectricas de fusión.
9. Conocimiento básico de la problemática de seguridad, protección radiológica y generación de residuos en el diseño de aceleradores de alta intensidad tipo EVEDA/IFMIF.
10. 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, radioprotección e impacto medioambiental/gestión de residuos. La aplicación se hará sobre instalaciones de fusión nuclear propiamente dichas, o sobre la instalación de irradiación para desarrollo de materiales de reactores de fusión EVEDA/IFMIF. El programa de la asignatura se ha elaborado en función de los objetivos indicados.

Actitudes

Esta asignatura tiene la finalidad de otorgar al estudiante los conocimientos suficientes como para poder tener un criterio propio fundamentado sobre los factores que determinan la seguridad y el impacto medioambiental en plantas de fusión nuclear y asociadas. Debe cuestionar si un cierto diseño tecnológico presenta problemas serios en cuanto a la radioprotección, seguridad y generación/gestión de residuos radiactivos.

Esta asignatura tiene la finalidad de otorgar al estudiante los conocimientos suficientes como para poder tener un criterio propio fundamentado sobre los factores que determinan la seguridad y el impacto medioambiental en plantas de fusión nuclear y asociadas. Debe cuestionar si un cierto diseño tecnológico presenta problemas serios en cuanto a la radioprotección, seguridad y generación/gestión de residuos radiactivos. En lo referente al uso de herramientas computacionales, el alumno debe tener en todo momento una actitud crítica frente a los resultados obtenidos, sabiendo entender cuándo una solución computacional puede ser inaceptable. Es la actitud de saber que es el científico y no el ordenador el que realiza el análisis de radioprotección, seguridad y evaluación de residuos radiactivos y estrategias asociadas.

5.CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

Los contenidos temáticos de la asignatura son los siguientes:

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 nucleoelectricas 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 instalaciones de fusión nuclear y en la instalación para desarrollo de materiales EVEDA-IFMIF

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

Tema 13. Metodología computacional para análisis de seguridad y radioprotección de instalaciones basadas en aceleradores de alta intensidad como EVEDA-IFMIF.

6.EQUIPO DOCENTE

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

7.METODOLOGÍA

Esta asignatura ha sido diseñada según modalidad a distancia, por ello, el estudiante contará con el material necesario para afrontar el estudio de forma autónoma. No obstante es necesaria una planificación objetiva de las tareas programadas.

El estudio de la materia se hará a través de los textos básicos recomendados, apoyados con material virtualizado disponible en la plataforma de aprendizaje y en las orientaciones didácticas elaboradas para que el estudiante pueda estudiar a distancia de forma autónoma.

En una primera etapa el estudiante debe estudiar los contenidos teóricos de la asignatura. En una segunda etapa, y una vez una vez estudiados los distintos temas del programa, el alumno realizará una prueba de evaluación a distancia que consistirá en la contestación a preguntas de desarrollo, preguntas que incluirán en su desarrollo las cuestiones planteadas en los ejercicios/cuestiones de autoevaluación de cada tema.

Finalmente el alumno llevara a cabo la prueba presencial.

El marco en el que se desarrollará el curso será la plataforma informática aLF. El curso virtual será la herramienta principal de comunicación entre los alumnos y el equipo docente y de los alumnos entre sí. A través de esta plataforma virtual el alumno tendrá acceso a variados elementos de apoyo.

Finalmente indicar, que en general, el trabajo autónomo es una parte muy importante de la metodología "a distancia" por lo que el diseño de actividades de aprendizaje, incluidas las de evaluación, se ha hecho de forma lo suficientemente flexible como para que cada estudiante establezca su propio ritmo de estudio de manera que pueda abordar el curso de forma continuada y regular.

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:

Tambien se considerará bibliografía basica una selección de artículos de investigación realizados por el equipo docente sobre el tema de Selección de materiales estructurales de baja activación.



Los apuntes elaborados en el Departamento Ingeniería Energética/Sección Ingeniería Nuclear: "Introducción a problemas neutrónicos en el reactor ITER".

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:

BLOQUE 1.

Es suficiente que consulte los siguientes enlaces:

Fusión por confinamiento magnético.

1. <http://www.efda.org/>
2. <http://www.iter.org/>
3. http://www-fusion.ciemat.es/New_fusion/es/
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/ITER>
- 5.

Fusión por confinamiento inercial.

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

BLOQUES 2, 3 y 4.

Para las cuestiones relacionadas con instalaciones de fusión, se seguirá el documento titulado:

"Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear. Metodología de análisis y aplicaciones", J. Sanz Universidad Nacional de Educación a Distancia. Departamento de Ingeniería Energética. Ingeniería Nuclear. UNED/DIE- IN 5.0. Noviembre 2008. (Basado en versión UNED/DIE- IN 4.0. Noviembre 2002,Autor. J. Sanz

Es el texto fundamental para el seguimiento de esta asignatura del Máster. Está disponible en formato pdf en el curso virtual de la plataforma virtual. Este texto se utilizará para el estudio de las cuestiones relacionadas con:

1. la posibilidad de diseñar centrales nucleoelectricas de fusión seguras y respetuosas con el medio ambiente
2. los tipos de análisis/evaluaciones de seguridad e impacto medioambiental de las instalaciones de fusión nuclear.
3. la metodología computacional para análisis de seguridad, impacto medioambiental y protección radiológica en instalaciones de fusión nuclear.

Recursos de apoyo

- El curso virtual, situado en la plataforma de enseñanza de la UNED, servirá como punto de contacto con el estudiante, así como centro de distribución de materiales y tareas.
- Se realizarán y posteriormente distribuirán materiales audiovisuales realizados por el equipo docente. Estos materiales provendrán tanto de videoconferencias con los estudiantes, como de grabaciones multimedia realizadas por el equipo docente.
- Tal y como se ha comentado, el área de Ingeniería Nuclear ha desarrollado un software de prácticas a distancia con el que se desarrollarán las prácticas de la asignatura. Dicho software se puede utilizar remotamente mediante un navegador, previa autorización del equipo docente de la asignatura.

10.RECURSOS DE APOYO AL ESTUDIO



Bibliografía en la red

Se destacan los siguientes contenidos presentes en internet, por su directa relación con la fusión nuclear y sus aplicaciones técnicas.

Para Fusión por Confinamiento Magnético

<http://www.efda.org/>

<http://www.iter.org/>

http://www-fusion.ciemat.es/New_fusion/es/

<http://en.wikipedia.org/wiki/ITER>

Para Fusión por Confinamiento Inercial

<https://lasers.llnl.gov/>

http://en.wikipedia.org/wiki/National_Ignition_Facility

Recursos de apoyo

- El curso virtual, situado en la plataforma de enseñanza de la UNED, servirá como punto de contacto con el estudiante, así como centro de distribución de materiales y tareas.
- Se realizarán y posteriormente distribuirán materiales audiovisuales realizados por el equipo docente. Estos materiales provendrán tanto de videoconferencias con los estudiantes, como de grabaciones multimedia realizadas por el equipo docente.
- Tal y como se ha comentado, el área de Ingeniería Nuclear ha desarrollado un software de prácticas a distancia con el que se desarrollarán las prácticas de la asignatura. Dicho software se puede utilizar remotamente mediante un navegador, previa autorización del equipo docente de la asignatura.

11.TUTORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO

La tutorización y el seguimiento de los aprendizajes se realizarán a través del curso virtual. También se pueden realizar consultas a los profesores de la asignatura personalmente o por teléfono en el siguiente horario:

D. Francisco Ogando

Jueves de 16,00 a 20,00 h.

Dpto. de Ingeniería Energética,

ETS de Ingenieros Industriales,

despacho 0.15

Tel.: 91 398 8223

Correo electrónico: fogando@ind.uned.es

D. Javier Sanz

Martes, de 16 a 20 h.

Dpto. de Ingeniería Energética,

ETS de Ingenieros Industriales,

despacho 2.18

Tel.: 91 398 6463

Correo electrónico: jsanz@ind.uned.es

D. Patrick Sauvan

Jueves, de 16,00 a 20,00 h.

Dpto. de Ingeniería Energética,

ETS de Ingenieros Industriales,

despacho 0.16

Tel.: 91 398 8731

Correo electrónico: psauvan@ind.uned.es

Dirección postal:

Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)

ETS de Ingenieros Industriales



12.EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

La evaluación podrá consistir en una prueba presencial, pruebas de evaluación a distancia y trabajos de síntesis, así como otros elementos de evaluación que establezca el equipo docente para evaluar la actividad del alumno a lo largo del curso. Las características de los distintos elementos de evaluación y su peso en la calificación final se establecerán al comienzo del curso y podrán consultarse en el curso virtual de la asignatura.

Para el presente curso, los elementos principales de evaluación se estructuran en tres grandes grupos:

1. Pruebas de evaluación/trabajos a desarrollar a distancia por el alumno (PED).
2. Prueba presencial (EX)
3. Participación en el desarrollo del curso (PART).

Dado que el periodo lectivo de la asignatura se desarrollará durante el segundo cuatrimestre, la prueba presencial se realizará en la convocatoria de junio o en la de septiembre.

La participación en el curso se medirá por el grado de actividad de los estudiantes en los foros de conversación, valorando la adecuación de los mensajes y la continuidad en el tiempo.

La calificación final de la asignatura dependerá de las calificaciones obtenidas en los elementos de evaluación mencionados y de la ponderación que se asigne a los mismos, que será significativamente mayor para el trabajo a distancia que para la prueba presencial. Independientemente de dicha ponderación, para aprobar la asignatura será necesario obtener una calificación mínima de 4 puntos sobre 10 en la prueba presencial y 5 puntos sobre 10 en la calificación global. La nota final se calculará según la expresión:

$$\text{Nota} = \min(10, 0.3 \times \text{EX} + 0.7 \times \text{PED} + 0.1 \times \text{PART})$$

13.COLABORADORES DOCENTES

Véase equipo docente.

