

SEGURIDAD E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE INSTALACIONES DE FUSIÓN NUCLEAR

Curso 2009/2010

(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 el actual séptimo programa marco de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom), del que vamos a reproducir y resumir algunos extractos que definen el interés europeo por el tema, y que es compartido a nivel mundial. A este respecto se aconseja consultar: http://cordis.europa.eu/fp7/euratom/fusion_en.html; http://www.ionizantes.ciemat.es/especiales/VII_programa_marco-ionizantes/energia_fusion.htm

El séptimo programa marco (7PM) de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom) de acciones de investigación y formación en materia nuclear (2007-2011) se articula en dos programas específicos: i) el primero abarca las denominadas acciones «indirectas», y comprende a su vez el subprograma sobre la investigación de la energía de fusión, y el subprograma sobre la fisión nuclear y la protección contra las radiaciones (radioprotección); ii) y el segundo, abarca la realización de las denominadas acciones «directas» en el campo nuclear por parte del Centro Común de Investigación (CCI).

La dotación de los programas específicos se reparte del modo siguiente: 1.947 millones de euros en la investigación sobre la energía de fusión, 287 millones de euros para las actividades sobre fisión nuclear y radioprotección, y se ha destinado un importe de 517 millones de euros para las actividades nucleares del CCI. Éste figura, además, como socio en muchos de los consorcios que ponen en práctica acciones indirectas en el ámbito de la fisión.

Con relación al programa de INVESTIGACIÓN SOBRE LA ENERGÍA DE FUSIÓN el objetivo es desarrollar la base de conocimientos que permita la creación de reactores prototipo para centrales eléctricas que sean seguros, sostenibles, respetuosos del medio ambiente y económicamente viables, y construir el ITER como paso fundamental hacia ese objetivo.

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.



Además de los esfuerzos que la UE está desplegando en el campo de la investigación sobre las energías renovables, la fusión puede suponer una aportación fundamental para conseguir un abastecimiento de energía seguro y sostenible de la UE dentro de algunos decenios, tras la penetración en el mercado de los reactores de fusión nuclear. Su éxito supondría un suministro de energía seguro, sostenible y respetuoso del medio ambiente. El objetivo a largo plazo de la investigación europea sobre la fusión, que abarca todas las actividades en este campo de los Estados miembros y los terceros países asociados, es la creación conjunta, dentro de aproximadamente treinta o treinta y cinco años y sujeto al proyecto tecnológico y científico, de reactores prototipo para centrales eléctricas que cumplan estos requisitos y sean económicamente viables.

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.

Las Actividades asociadas al Programa se dividen en siete grupos:

1. La creación del ITER
2. I+D para preparar el funcionamiento del ITER
3. Actividades tecnológicas para preparar la DEMO
4. Actividades de I+D a más largo plazo
5. Recursos humanos, educación y formación
6. Infraestructuras
7. Procesos de transferencia de tecnología

Las actividades asociadas al grupo primero y segundo se refieren al ITET, cuya descripción es parte de esta asignatura.

Por lo que respecta a las actividades del grupo tercero, Actividades tecnológicas para preparar la 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.

Los aspectos de seguridad y medioambientales de la energía de fusión que aquí se mencionan son elementos fundamentales de la asignatura, así como la descripción de la instalación EVEDA-IFMIF y el análisis de la problemática de radioprotección y seguridad asociado al diseño de la misma.

Por lo que respecta a las actividades del grupo cuarto, Actividades de I+D a más largo plazo, un grupo de ellas se refiere a la teoría y modelización necesarias para una comprensión completa del comportamiento de los plasmas de fusión, y en definitiva de la física de la fusión por confinamiento inercial.

La física básica de la fusión por confinamiento inercial es objeto de la asignatura, así como la descripción de instalaciones experimentales y conceptos de centrales basados en esta forma de explotar la energía de fusión.

Indicar finalmente que en la vía de la energía nuclear FCM, que cuenta con un mayor desarrollo que la FCI en la actualidad, los Programas de I+D más importantes son el ya mencionado Proyecto ITER y el "Broader Approach" agreement/"Enfoque Ampliado a la Investigación en la Energía de Fusión", firmado entre la UE y Japón en el año 2007, y dentro del cual se encuentra el Proyecto denominado "Engineering Validation and Engineering Design Activities (EVEDA) for the International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF)" en el que España también participa activamente. La energía nuclear de fusión por confinamiento inercial tiene también importantes Programas de I+D, siendo los más notables y por orden de importancia los siguientes: NIF (EE.UU), LMJ (Francia), OMEGA (EE.UU), GEKKO XII (Japón) y HIPER (propuesto para construcción como proyecto de la Unión Europea).

De acuerdo a los Programas de Fusión Nuclear más relevantes se han identificado cuales son las instalaciones nucleares de fusión (diseños conceptuales de centrales e instalaciones experimentales) y las instalaciones de irradiación necesarias para



demostrar parte de las tecnologías requeridas para el desarrollo de la energía de fusión; y asociado a las mismas, se han identificado los temas de investigación prioritarios en seguridad, radioprotección e impacto medioambiental, tal y como brevemente se ha expuesto anteriormente. Buena parte de los conocimientos y capacidades necesarias para abordar dichos temas constituyen los contenidos y objetivos de la asignatura, tal y como se verá en las secciones siguientes.

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.

Es recomendable el conocimiento de algún lenguaje de programación en un nivel medio. Los lenguajes de programación con los que se puede trabajar son C, C++ y Fortran, bajo entornos UNIX y PC

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.
11. Capacidad de utilizar códigos de transporte (código MCNP) para caracterizar el escenario neutrónico existente en los materiales de las instalaciones de fusión, haciendo uso de modelo simplificados.
12. Capacidad de utilizar códigos de activación (código ACAB) para caracterizar el inventario isotópico y las respuestas de seguridad e impacto medioambiental de los materiales integrantes de las instalaciones de fusión y de los aceleradores de alta intensidad tipo EVEDA/IFMIF al ser expuestos al campo de irradiación correspondiente.

El desarrollo un poco más pormenorizado de la lista de objetivos indicada se hace a continuación.

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.

TRABAJO FINAL : Trabajo final de síntesis.

Se ofertan trabajos encuadrados en dos grupos:

- i) Utilizar códigos de simulación para: caracterizar el escenario neutrónico al que van a verse expuesto los materiales de alguna de las instalaciones de fusión más relevantes del momento, y en una segunda fase caracterizar el inventario isotópico y las respuestas de seguridad e impacto medioambiental de dichos materiales.
- ii) Utilizar códigos de simulación para partiendo del escenario de irradiación del acelerador de alta intensidad EVEDA/IFMIF, caracterizar el inventario isotópico y las respuestas de seguridad, impacto medioambiental y radioprotección de algunos de los materiales y sistemas que lo integran.

6.EQUIPO DOCENTE

DATOS NO DISPONIBLES POR OBSOLESCENCIA

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. Al final de cada tema, deberá realizar una prueba de autoevaluación consistente en la resolución de algunas cuestiones y ejercicios, que le permitirá valorar la asimilación de los contenidos.

En una segunda etapa, una vez estudiados los distintos temas de cada Bloque temático, el alumno llevará a cabo la



resolución de un problema para cada uno de los bloques del Programa.

En una tercera 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 el trabajo final.

En definitiva, y dadas las características de la materia, se ha propuesto emplear, de forma escalonada, y tal como sucintamente se ha comentado, tres metodologías de aprendizaje:

Resolución de cuestiones y ejercicios de autoevaluación:

Boque I-IV:

Esta metodología se utiliza como herramienta básica de aprendizaje. A partir de un problema enunciado, relevante en cuanto a los conocimientos a manejar en el planteamiento de la investigación sobre residuos nucleares, se plantean cuestiones teórico prácticas cuya solución requiere de los conocimientos implicados fundamentalmente en cada unidad temática, aunque se pueden retomar también algunas cuestiones específicas de las anteriores. El alumno recibirá, al final de la realización de estos ejercicios de autoevaluación indicaciones relativas al grado de avance así como explicaciones y alternativas (basadas en cuestiones teóricas) de solución a los errores detectados. La realización de los ejercicios en sí mismos no tiene contribución a la nota final. Ahora bien la prueba de evaluación a distancia que se deberá realizar una vez realizados los ejercicios/tests de evaluación correspondientes a todos los temas, y cuyo periodo de duración será de dos horas, se basará totalmente en este tipo de cuestiones. Dicha prueba contribuirá en un 20% a la nota final. En este tipo de metodología el alumno empleará 61,5 horas (el 55% de las 112.5 asignadas a la materia).

Aprendizaje basado en problemas:

Bloque I-IV:

Esta metodología se emplea al final de cada bloque temático. El alumno deberá desarrollar la solución a un problema práctico, representativo de alguna de las actividades de investigación que hay que abordar en el desarrollo de un Proyecto de investigación en el campo de la seguridad, radioprotección e impacto medioambiental/generación-gestión de residuos nucleares relativo a instalaciones de fusión nuclear e instalaciones de irradiación asociadas (IFMIF-EVEDA). La resolución al problema se deberá presentar en formato "informe de investigación". Este trabajo será evaluado completo, sobre esta evaluación se informará de forma detallada al alumno, advirtiéndole de los errores, pero sin aportar indicios relativos a los errores, teniendo el alumno que buscar las soluciones correctas. La resolución de los distintos problemas contribuirá en un 30% a la nota final. En este tipo de metodología el alumno empleará 31 horas (el 27,5 % de las 112.5 asignadas a la materia).

En este apartado incluimos las prácticas en línea que consistirán en resolver problemas relacionados con cada bloque utilizando herramientas computacionales disponibles a través del curso virtual de la UNED. Dentro del programa "Redes II" promocionado por el Instituto Universitario de Educación a Distancia de la UNED, se han desarrollado herramientas orientadas a facilitar el uso de las aplicaciones computacionales para cálculos de inventario radiactivo y determinación de funciones respuesta asociadas a los análisis de seguridad y evaluación de residuos. En la asignatura se incluirán prácticas virtuales con ayuda de dichas herramientas.

Aprendizaje orientado a proyectos:

Trabajo final

Se planteará un problema bastante general, referido como ya comentamos al final de la sección anterior en el apartado TRABAJO FINAL, a dos posibles aplicaciones:

i) En la primera referida a fusión, el único punto de partida será el material y las condiciones fuente de la instalación de fusión que se considere. A partir de aquí, el alumno tendrá que ser capaz de caracterizar mediante simulación numérica el escenario neutrónico al que van a verse expuesto los materiales de la instalación, y en una segunda fase caracterizar el inventario isotópico y las respuestas de seguridad e impacto medioambiental de dichos materiales.

ii) En la segunda referida al acelerador de alta intensidad EVEDA-IFMIF, el punto de partida es el material y las condiciones de irradiación a las que estará sometido. A partir de aquí, el alumno tendrá que ser capaz de utilizar códigos de simulación para caracterizar el inventario isotópico y las respuestas de seguridad, impacto medioambiental y radioprotección de algunos de los materiales y sistemas que lo integran.

En definitiva, este trabajo ha de contar con un grado de autonomía muy elevado, es decir el alumno determina y configura



en buena medida el problema de investigación, desarrolla la búsqueda bibliográfica para contextualización teórica, el estado de la cuestión etc. Realiza la simulación numérica, analiza los datos en función de distintas opciones de gestión que pudiera plantear, y propone una o varias soluciones alternativas indicando las ventajas e inconvenientes de cada una. En este tipo de metodología el alumno empleará 20 horas (el 17,5% de las 112.5 horas asignadas a la materia). La realización del Trabajo final contribuirá en un 50% a la nota final.

El marco en el que se desarrollará el curso será el curso virtual. 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.

Aunque reducidas, también se llevarán a cabo actividades presenciales. Estas consistirán fundamentalmente en dos seminarios presenciales con el equipo docente. En el primero se tratarán aspectos relacionados con los contenidos teóricos y podrán servir asimismo para concretar los trabajos prácticos que deberán realizarse, y en el segundo se presentarán y discutirán los trabajos realizados. La participación en los seminarios será voluntaria.

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: DESCRIPCIÓN Y ESTUDIOS DE RADIOPROTECCIÓN Y SEGURIDAD DE ACELERADORES DE ALTA INTENSIDAD TIPO EVEDA/IFMIF.

Autor/es: J. Sanz ;

Editorial: UNED

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:

También se considerará bibliografía básica 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: Descripción y estudios de radioprotección y seguridad de aceleradores de alta intensidad tipo EVEDA/IFMIF.

Basados en :

J. Sanz et al. Evaluation of neutron production, neutron flux neutron induced activation and dose rates in the EVEDA accelerator prototype EFDA Task: TW6-TTMI- 004 Deliverable 3. Final Report. UNED, Sept. 2007

9. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Comentarios y anexos:



I. Para abordar los contenidos del BLOQUE 1.

Es suficiente que consulte los siguientes links:

I.1. Para fusión por confinamiento magnético, y también sobre aspectos generales de la fusión (introducción a la fusión) y de seguridad y medioambiente:

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

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

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

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

I.2 Para fusión por confinamiento inercial, y también sobre aspectos generales de la fusión (introducción a la fusión) y de seguridad y medioambiente:

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

Los contenidos incluidos en el anterior link están tratados de forma admirable.

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

II. Para abordar los contenidos que se van a exigir en los BLOQUES 2, 3 y 4.

Deberá utilizar la siguiente bibliografía:

II.1. 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 alf. El nombre del fichero que lo contiene es: Documento_SMA_fusion

Este texto se utilizará para el estudio de las cuestiones relacionadas con: i) la posibilidad de diseñar centrales nucleoelectricas de fusión seguras y respetuosas con el medio ambiente, ii) los tipos de análisis/evaluaciones de seguridad e impacto medioambiental de las instalaciones de fusión nuclear, y iii) la metodología computacional para análisis de seguridad, impacto medioambiental y protección radiológica en instalaciones de fusión nuclear.

CAPÍTULOS A ESTUDIAR: Del documento mencionado "Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear. Metodología de análisis y aplicaciones", el alumno tendrá que estudiar los capítulos siguientes:

- Capítulo 1. Si

- Capítulo 2. Si

- Capítulo 3. Si

- Capítulo 4. No

- Capítulo 5. Sólo se exige estudiar la sección 5.1, a la que debe de unir el párrafo final de la sección 5.3 (dicho párrafo empieza en página 113) y la figura 5.1.

- Capítulo 6. De este capítulo se exige estudiar las secciones siguientes: 6.1; 6.2, 6.2.1, 6.2.2 y 6.2.3; y finalmente también



la sección 6.3.1.

- Capítulo 7. De este capítulo se exige estudiar las secciones siguientes:

a) 7.1; 7.2.

b) se permite al alumno elegir una de las dos opciones siguientes: b.1) secciones 7.3, 7.3.1, 7.3.2 y 7.3.3 correspondientes al diseño de reactor HYLIFE-II b.2) secciones 7.4, 7.4.1 y 7.4.2 correspondientes al diseño de reactor Sombrero

c) 7.5

d) 7.6, 7.6.1 y 7.6. 2.

- Capítulo 8. Si

II. 2. Para las cuestiones relacionadas con la instalación para desarrollo de materiales EVEDA-IFMIF, se utilizará, a su vez los siguientes documentos:

II.2.1 Documento elaborado dentro del programa EFDA para el desarrollo de EVEDA.

Está disponible en formato pdf en el curso virtual de la plataforma alf.

El nombre del archivo es: final_report_EFDA La información sobre título y autores es la que sigue. Evaluation of neutron production from d-d, and other reactions in the EVEDA accelerator prototype (including beam dump) and evaluation of neutron flux. Evaluation of neutron induced activation and dose rates in the accelerator components. EFDA Task: TW6-TTMI-004. Deliverable 3 Final Report. J. Sanz, M. García, P. Sauvan, D. López, M. Embid, C. Moreno, L. Sedano Universidad Nacional de Educación a Distancia, Departamento de Ingeniería Energética, Ingeniería Nuclear, UNED/DIE-IN 16.0, Septiembre 2007.

CONTENIDOAS A ESTUDIAR

Del documento mencionado, el alumno tendrá que estudiar los capítulos siguientes:

- Capítulo 1. Si

- Capítulo 2. Si

- Capítulo 3. Si

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.



- Una serie de artículos sobre fusión de la revista Mundo Científico 182, 727-750, Sept. 1997.
 En ellos se presenta una visión general sobre lo que es la fusión, en sus dos aproximaciones: la fusión por confinamiento magnético y la fusión por confinamiento inercial. Se presentan las posibles ventajas de la fusión, y se discuten los principales problemas que deben superarse para el desarrollo de la fusión como fuente de energía.
- Los capítulos 1º y 6º del libro: "Energy from Inertial Fusion" W.H. Hogan, Scientific Editor, International Atomic Energy Agency, IAEA, Vienna, 1995.
 En el capítulo 1º se presentan los conceptos fundamentales relativos al desarrollo de la fusión inercial como fuente de energía. En el capítulo 6º se presentan los aspectos fundamentales a tener en cuenta en los análisis de seguridad e impacto medioambiental de la fusión inercial (y que en su mayor parte son también válidos para la fusión magnética).

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. Javier Sanz

Martes, de 16 a 20 h.

Dpto. de Ingeniería Energética,

ETS de Ingenieros Industriales,

despacho 2.18

Tel.: 91 398 64 63

Correo electrónico: jsanz@ind.uned.es

D. Patrick Sauvan

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

Dpto. de Ingeniería Energética,



ETS de Ingenieros Industriales,
despacho 0.16
Tel.: 91 398 87 31
Correo electrónico: psauvan@ind.uned.es

D. Francisco Ogando
Miércoles de 16,00 a 20,00 h.
Dpto. de Ingeniería Energética,
ETS de Ingenieros Industriales,
despacho 0.15 T
Tel.: 91 398 82 23
Correo electrónico: fogando@ind.uned.es

Dirección postal:
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
ETS de Ingenieros Industriales
Departamento de Ingeniería Energética
C Juan del Rosal, 12
Ciudad Universitaria. 28040- Madrid

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 dos grandes grupos:

- i) pruebas de evaluación/trabajos a desarrollar a distancia por el alumno
- ii) prueba presencial

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.

13.COLABORADORES DOCENTES

Véase equipo docente.

