

SEGURIDAD E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES EXPERIMENTALES Y EN PLANTAS CONCEPTUALES NUCLEOELÉCTRICAS DE FUSIÓN

Curso 2016/2017

(Código: 28801477)

1. PRESENTACIÓN

La línea de investigación en la que aquí se encuadra el Trabajo fin de máster es la de *Seguridad e impacto medioambiental en el diseño de instalaciones experimentales y en plantas conceptuales nucleoelectricas de fusión*. Se oferta desde el Departamento de Ingeniería Energética y se incluye dentro del itinerario denominado también Ingeniería Energética.

En la actualidad y 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). A nivel mundial las dos vías gozan de una gran actividad.

Para el desarrollo de la fusión nuclear además de lograr la viabilidad de la ganancia energética de los procesos de fusión, es clave demostrar 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.

La motivación de esta línea de investigación radica precisamente en los dos primeros aspectos, que constituyen dos de las grandes cuestiones de la tecnología de fusión: llevar a la práctica la potencialidad de la fusión nuclear como fuente de energía atractiva en lo que respecta a la seguridad y al impacto medioambiental/gestión de residuos radiactivos.

La importancia del trabajo de fin de máster se ve reflejado en el número de créditos ECTS del mismo, 15, y en las horas de dedicación que debe emplear el estudiante, unas 375 horas de trabajo. Y como se quiere remarcar, la finalización de este trabajo debe ser fruto de su madurez en las materias técnicas del master así como en las competencias adquiridas.



2.CONTEXTUALIZACIÓN

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) necesarias para demostrar parcial y/o de forma integrada las tecnologías requeridas para el desarrollo de la energía de fusión; y asociado a las mismas, se están identificado los temas de investigación prioritarios en seguridad, radioprotección e impacto medioambiental.

La demostración de la seguridad y atractiva gestión de los residuos generados en cada una de las instalaciones experimentales y centrales DEMO propuestas es objeto de gran interés por muchos equipos de investigación.

En España, este interés es también compartido, siendo nuestro equipo uno de los que desde hace más tiempo ha estado comprometido con este tipo de estudios, participado en algunos de los Programas de Investigación al respecto más notables, tal y como seguidamente comentaremos en la Sección 6.

Es dentro de estas actividades donde se encuadrará el posible trabajo fin de máster a realizar por el estudiante si elige esta línea de investigación, y estará integrado dentro de alguno de los Programas internacionales de investigación en los que participamos, tanto en el campo de la FCI, como de la FCM. Los contenidos de los posibles trabajos se mencionarán en las secciones siguientes

La relación del trabajo de investigación con las otras asignaturas del máster se indica en la sección siguiente, referida a conocimientos previos.

3.REQUISITOS PREVIOS RECOMENDABLES

Para poder realizar el Trabajo fin de máster en la línea de investigación sobre *Seguridad e impacto medioambiental en el diseño de instalaciones experimentales y en plantas conceptuales nucleoelectricas de fusión*, el estudiante ha de seleccionar las asignaturas a cursar de acuerdo a las siguientes directrices:

A) MODULO I (4 asignaturas).

OBLIGATORIAS: Las 4 asignaturas del Módulo

B) MODULO II del Itinerario en Ingeniería Energética (3 asignaturas).

OBLIGATORIAS: Las 3 asignaturas del Módulo

C) MODULO III del Itinerario en Ingeniería Energética (10 asignaturas)

OPTATIVAS: Tres de las 10 asignaturas del Módulo

Para la inicialización del Trabajo no es condición necesaria que haya tenido que aprobar previamente ninguna de las asignaturas del Master, pero si que es necesario en la práctica que domine muchos de los conceptos impartidos en algunas de las asignaturas asignadas a la línea de investigación, y fundamentalmente de las asignaturas del MODULO II del Itinerario en Ingeniería Energética denominadas *Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear y Tecnologías para la gestión de residuos radiactivos*

Además es necesario tener conocimientos suficientes para lectura en inglés técnico. Y sería 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

El objetivo final es que el estudiante: i) seleccione el diseño conceptual de central nucleoelectrica o la instalación experimental de fusión nuclear que crea interesante estudiar, ii) calcule el inventario isotópico, y lleve a cabo o bien la evaluación del impacto medioambiental de la instalación en términos de determinación de producción de residuos radiactivos, evaluación de los mismos y propuesta de gestión más atractiva; o bien la evaluación de seguridad de la instalación en términos de calcular las dosis al público bajo escenario de accidente severo y comparación de los resultados con objetivos de seguridad establecidos para la fusión nuclear; iii) evalúe las incertidumbres en las predicciones de las magnitudes consideradas por efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación, iv) dar respuesta final sobre la evaluación de la instalación en lo que respecta a seguridad o impacto medioambiental, y proponer medidas, de si fuera necesario, para llegar a un diseño de activación reducida, lo más atractivo posible de acuerdo al criterio ALARA (As Low As Reasonably Achievable).

Objetivos de conocimiento



- Conozca los distintos tipos de centrales FCI y FCM así como las instalaciones experimentales de fusión en desarrollo.
- Conozca la problemática asociada a la predicción de inventario isotópico, y evaluación de la seguridad e impacto medioambiental en instalaciones de fusión nuclear.

Objetivos de habilidades y destrezas

- Seleccione el tipo de instalación de fusión nuclear a estudiar en función de criterios objetivos: importancia del sistema, posible relevancia en cuanto a la demostración de la potencialidad de la fusión respecto a seguridad y/o impacto medioambiental reducido, identificación de secciones eficaces no suficientemente bien conocidas, nueva aportación que el trabajo suponga, y disponibilidad de los recursos que pudieran necesitarse.
- Comprender cómo se integran los diferentes elementos (programas/códigos de simulación y bases de datos) computacionales constituyentes del sistema de cálculo a utilizar en la predicción de inventario isotópico y funciones respuesta, y evaluación del efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación.
- Capacidad de utilizar códigos de transporte para caracterizar el flujo neutrónico presente en los materiales constituyentes de la instalación.
- Capacidad de utilizar códigos de activación para realizar cálculos de activación/inventario isotópico y determinación de respuestas útiles para análisis de seguridad y gestión de residuos, así como para estimar la incertidumbre en las predicciones debido al efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación

Objetivos de actitudes

- Proponer una metodología de resolución (modelización de la situación real) apropiada para predecir las magnitudes de interés y evaluar las incertidumbres en las mismas debidas a las incertidumbres existentes en las secciones eficaces.
- Proponer el sistema computacional adecuado para predecir el inventario isotópico, y poder llevar a cabo análisis de seguridad e impacto medioambiental en instalaciones de fusión nuclear.
- Identificar las posibles limitaciones que presenten los códigos y bases de datos que integrarían el sistema computacional propuesto para abordar el problema.
- Calcular el inventario isotópico, y calcular la producción de residuos, realizar evaluación de los mismos y hacer la propuesta de gestión más atractiva o bien, analizar la seguridad de la instalación bajo escenario de accidentes severo.
- Evaluar los resultados en lo que a su significación se refiere de cara a la demostración de la potencialidad de la fusión respecto a seguridad y/o impacto medioambiental reducido.
- Establecer el rango de validez de las soluciones aportadas en función de las limitaciones del sistema computacional utilizado.
- Establecer, si fuera preciso, las necesidades de desarrollo teórico y/o experimental para realizar el análisis de seguridad y evaluación de impacto medioambiental del tipo de instalación de fusión elegida y para las funciones respuestas consideradas.

5. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

Los contenidos de las distintas actividades a realizar se estructuraran como se expone seguidamente:

Bloque 1. Definición y motivación de la actividad de investigación objeto del trabajo

- Conocimiento detallado de la problemática asociada a la predicción de inventario isotópico, análisis de seguridad, evaluación del impacto medioambiental y logro de una instalación de fusión atractiva por lo que respecta a sus características de seguridad e impacto medioambiental.
- Definición precisa de la instalación y problema/escenario real que se pretende abordar en el trabajo. Dicho trabajo podría estar asociado a uno de estos dos grupos de tareas:
 - Análisis de la seguridad bajo escenario de accidente severo en la instalación. Se calcularía la dosis al público y se analizarían los resultados en función de los objetivos de seguridad establecidos para la fusión nuclear.
 - Evaluación del impacto medioambiental de la instalación. Se ha de calcular la producción de residuos,



- realizar evaluación de los mismos y hacer la propuesta de gestión más atractiva para ellos.
- Motivación del trabajo: justificación de la relevancia de la actividad que se va a desarrollar en el marco del conjunto de tareas que deben comprender la demostración de la potencialidad de la fusión respecto a seguridad y/o impacto medioambiental reducido.

Bloque 2. Definición de la metodología de resolución del problema y selección del sistema computacional para llevarla a la práctica.

- Modelización del escenario real para el que se quiere calcular el inventario isotópico y las funciones respuesta/magnitudes asociadas a los análisis de seguridad y/o evaluación de impacto medioambiental.
- Propuesta del sistema computacional (programas/códigos de simulación y bases de datos) a utilizar para calcular inventario y funciones respuesta asociadas al modelo definido como representativo de la instalación/escenario real a tratar y estimar las incertidumbres en los resultados por efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación.
- Identificar las posibles limitaciones que presenten los códigos y bases de datos que integren el sistema computacional propuesto para abordar el problema.

Bloque 3. Predicción de inventario isotópico, análisis de seguridad y/o evaluación de impacto medioambiental. Estimación de incertidumbres en las predicciones por efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación. Evaluación final de la instalación y propuesta de medidas para llegar a un diseño de activación reducida aceptable.

- Utilización de códigos e transporte para determinación de flujos neutrónicos existentes en los materiales/componentes de la instalación.
- Utilización de códigos de activación para cálculos de inventario radiactivo y determinación de respuestas útiles para análisis de seguridad y gestión de residuos.
Evaluación de incertidumbres en la predicción de inventarios radiactivo y funciones respuesta asociadas debido al efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación.
- Establecer el rango de validez de las soluciones aportadas en función de las limitaciones del sistema computacional utilizado.
- Respuesta final sobre la evaluación de la instalación en lo que respecta a seguridad y/o impacto medioambiental, y proponer medidas, si fuera necesario, para llegar a un diseño de activación reducida aceptable.
- Analizar la necesidad de desarrollo teórico y/o experimental adicional para dar una solución aceptable al problema del análisis de seguridad y/o evaluación de impacto medioambiental de la instalación de fusión relativo a los aspectos abordados del mismo: propuesta de trabajo teórico y/o experimental futuro

6.EQUIPO DOCENTE

- [JAVIER SANZ GOZALO](#)
- [FRANCISCO M. OGANDO SERRANO](#)
- [RAFAEL JUAREZ MAÑAS](#)
- [PATRICK SAUVAN -](#)
- [JUAN PABLO CATALAN PEREZ](#)
- [MAURICIO GARCIA CAMACHO](#)

7.METODOLOGÍA

El plan diseñado para la realización satisfactoria de este trabajo de máster incluye básicamente dos etapas que serán evaluadas independientemente.

- Etapa de aprendizaje.
 - Asimilación del problema a resolver y pasos a seguir para ello.
 - Aprendizaje básico de uso de las herramientas computacionales que se utilizarán.
- Etapa de ejecución.
 - Cálculo de flujos neutrónicos.
 - Cálculo de inventario isotópico. Y según el trabajo que se elija se podrá optar por una de estas dos



- alternativas: i) evaluación de residuos radiactivos generados y propuesta de estrategia de gestión más atractiva. ii) evaluación de seguridad de la instalación bajo escenario de accidentes severo.
- Análisis de incertidumbres en la predicción de resultados por incertidumbres en las secciones eficaces de activación. Propuestas final de medidas para llegar a diseños de actividad reducida.

La primera fase del trabajo se iniciará con el repaso de los conceptos relativos a la descripción funcional básica de componentes de las instalaciones de fusión nuclear FCI y/o FCM y con los conceptos básicos referidos a la predicción de inventario isotópico, análisis de seguridad y evaluación de residuos radiactivos en dichas instalaciones. Buena parte de estos conceptos se tratan en la signatura del máster *Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear*. En esta primera fase también se incluirá la lectura de documentos relacionados con dicho tipo de instalaciones y su importancia en el desarrollo de la fusión. Seguidamente se ha de seleccionar y definir en detalle el problema que se pretende tratar. Para ello tendrá que estudiar cuales son los principales tipos de sistemas (centrales e instalaciones experimentales) de fusión nuclear, y seleccionar el concepto sobre el que se realizara el trabajo en función de criterios objetivos: importancia del sistema, posible relevancia en cuanto a la demostración de la potencialidad de la fusión respecto a seguridad y/o impacto medioambiental reducido, identificación de secciones eficaces no suficientemente bien conocidas, nueva aportación que el trabajo suponga, y disponibilidad de los recursos que pudieran necesitarse.

El estudio de esta primera etapa se realizará mediante documentación proporcionada por el equipo docente, y será un periodo de fuerte interacción con el mismo. Para ello se utilizarán las herramientas de docencia a distancia proporcionadas por la UNED.

La otra parte fundamental de esta primera etapa contempla el aprendizaje de uso de dos programas informáticos muy utilizados en investigación: uno de transporte de partículas (MCNP) y otro de cálculos de activación/inventario isotópico y determinación de respuestas útiles para análisis de seguridad y gestión de residuos (ACAB). El estudiante tendrá que hacer uso de ellos para abordar cualquier de los problemas que plantee como objeto del trabajo, al margen de que también se puedan utilizar otras herramientas que en su momentos e consideren oportunas.

El tiempo estimado de desarrollo de esta etapa es de 100 horas de trabajo colaborativo/en estrecha relación con el profesor, tras lo cual se realizaría, también con medios telemáticos, una prueba mediante la cual se evaluaría la capacidad del estudiante de proceder a la resolución del problema planteado, y pasar por tanto al desarrollo de la segunda etapa.

La segunda fase del trabajo incluirá varias tareas. En la primera se han de realizar los cálculos pertinentes para determinar el inventario isotópico. A continuación se podrá optar por: i) evaluar las dosis al público bajo escenario de accidente severo en la instalación y comparar resultados con objetivos de seguridad establecidos para la fusión nuclear; o bien ii) calcular la producción de residuos, realizar evaluación de los mismos y hacer la propuesta de gestión más atractiva para ellos. Seguidamente se estimará el efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación sobre la respuesta de la instalación en lo que respecta a seguridad y/o impacto medioambiental/producción y gestión de residuos. Y finalmente se dará la respuesta final sobre la evaluación de la instalación en lo que respecta a seguridad o impacto medioambiental, y se propondrán medidas si fuera necesario para llegar a diseños de actividad reducida, atractivas según criterio ALARA.

La estimación de horas de trabajo en esta fase es la siguiente: cálculos de transporte y determinación de flujos neutrónicos (50h), cálculos de activación/inventario isotópico (75h), análisis de seguridad o evaluación de residuos y propuesta de gestión de los mismos (75h) y elaboración del trabajo final de análisis (75h). Con ello se completan las 375h (15 ECTS) asignadas a la tarea.

Indicar que desde un principio se animará al estudiante a que conozca los recursos bibliográficos disponibles en Biblioteca de la UNED, debiéndose entender estos en su doble vertiente: documentación propiamente dicha a la que se puede acceder y procedimientos para llevar a cabo una gestión eficiente en el proceso de obtención de dicha documentación.

8. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Comentarios y anexos:

Bibliografía básica

- J. Sanz, *Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear. Metodología de análisis y aplicaciones*, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Departamento de Ingeniería Energética, Ingeniería Nuclear, UNED/DIE-IN 4.0, Noviembre 2002. Rev. Oct. 2007.
- Manuales de usuario simplificados y adaptados para manejo de los programas a utilizar en los análisis de



activación, seguridad y evaluación de residuos radiactivos en instalaciones de fusión nuclear: i) para códigos de transporte de neutrones (MCNP) y ii) para cálculos de activación/inventario isotópico y determinación de respuestas útiles para análisis de seguridad y gestión de residuos (ACAB).

9. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Comentarios y anexos:

- Energy from Inertial Fusion.
W.H. Hogan, Scientific Editor,
International Atomic Energy Agency, IAEA, Vienna, 1995.
- Nuclear Fusion by Inertial Confinement: a Comprehensive Treatise,
G. Velarde, Y. Ronen, J.M. Martínez-Val
(Eds.), CRC Press Inc., Boca Raton. FL (1992)

10. RECURSOS DE APOYO AL ESTUDIO

La realización de este trabajo requiere el uso de herramientas computacionales que no están al alcance del público en general. Su uso se gestionará dentro del marco de la plataforma virtual de la UNED, si bien se hará uso de algunos computadores del departamento de Ingeniería Energética. Por parte del estudiante, se espera la disponibilidad de un computador para trabajo con conexión a internet. En el caso de tener que instalar aplicaciones específicas de comunicación por red, se darán al estudiante instrucciones adecuadas, así como direcciones de acceso a software libre disponible.

11. TUTORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO

La tutorización y el seguimiento de los aprendizajes se realizarán a través del curso virtual. Asimismo la prueba de evaluación correspondiente a la terminación de la fase de aprendizaje se hará utilizando esta plataforma. 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. Francisco Ogando
Jueves de 16,00 a 20,00 h.
Dpto. de Ingeniería Energética, ETS de Ingenieros Industriales, despacho 0.15
Tel.: 91 398 82 23
Correo electrónico: fogando@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. Juan Pablo Catalán Pérez
Martes y jueves de 16,00 a 18,00 h.
Dpto. de Ingeniería Energética, ETS de Ingenieros Industriales, despacho 0.15



Tel.: 91 398 82 09

Correo electrónico: jpcatalan@bec.uned.es

D. Rafael Juárez Mañas

Martes y jueves de 16,00 a 18,00 h.

Dpto. de Ingeniería Energética, ETS de Ingenieros Industriales, despacho 0.15

Tel.: 91 398 82 23

Correo electrónico: rjuarez@ind.uned.es

Además de estos medios de tutorización a distancia, se realizarán videoconferencias cuando sea provechoso para estudiantes. El periodo de mayor interacción entre profesor y estudiante se prevé durante la primera etapa del trabajo, mientras en la segunda fase se espera que el alumno trabaje de modo más independiente para llevar a cabo la resolución del problema identificado en la primera fase, en la que se le dotó de la teoría necesaria y de la capacitación para hacer uso de las herramientas computacionales apropiadas.

12.EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

La evaluación del progreso del estudiante se realizará mediante los siguientes elementos:

1. Una prueba de evaluación a la finalización de la Etapa Aprendizaje,
2. Trabajo de investigación realizado y convenientemente recogido en el correspondiente informe final. Podrá ser escrito en español o inglés
3. Defensa oral del trabajo de investigación. La defensa del Trabajo de Fin de Máster será realizada por el estudiante en sesión pública, mediante la exposición de su contenido o de las líneas principales del mismo. La defensa oral se podrá realizar de forma presencial o por videoconferencia. En todo caso, se habrá de adaptar a la regulación vigente en la UNED relativa a defensa de los Trabajos de Fin de Máster.

La calificación final de la asignatura dependerá de las calificaciones obtenidas en los elementos de evaluación, y su ponderación a la nota final es la siguiente:

1. Prueba de evaluación al final de la Etapa de Aprendizaje (20%)
2. Informe final del trabajo de investigación realizado (50%)
3. Defensa oral del trabajo de investigación realizado (30%)

De todas formas, estos criterios podrían verse ligeramente modificados para adaptarse a la regulación que en su momento esté vigente en la UNED relativa a calificación de los Trabajos de Fin de Máster.

Aparte de los criterios objetivos a los que debe responder todo informe escrito y exposición oral relativos a un trabajo de investigación en áreas científico-tecnológicas, se tendrá también en cuenta el grado de eficiencia del estudiante en la obtención de documentación relativa al tema y a su aplicación para el trabajo en cuestión.

Señalar que el Trabajo de Fin de Máster deber ser evaluado una vez que se tenga constancia de que el estudiante ha superado las evaluaciones previstas en las restantes materias del Plan de Estudios y dispone, por tanto, de todos los créditos necesarios para la obtención del título de Máster, salvo los correspondientes al propio Trabajo.

En cualquier caso las directrices generales relativas a la definición, realización, defensa, calificación y tramitación administrativa de los Trabajos de Fin de Máster que se establezcan en éste, así como en los demás Planes de Estudio de los Títulos Oficiales de Máster impartidos en la UNED, estarán reflejadas en la normativa vigente en la UNED al respecto.

13.COLABORADORES DOCENTES

Véase equipo docente.

