15-16

GUÍA DE ESTUDIO DE LDI

DISEÑO DE REACTORES NUCLEARES

CÓDIGO 01525587

UNED

15-16

DISEÑO DE REACTORES NUCLEARES

CÓDIGO 01525587

ÍNDICE

OBJETIVOS
CONTENIDOS
EQUIPO DOCENTE
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA
SISTEMA DE EVALUACIÓN
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

AVISO IMPORTANTE

En el Consejo de Gobierno del 30 de junio de 2015 se aprobó, por unanimidad, que la convocatoria de exámenes extraordinarios para planes en extinción de Licenciaturas, Diplomaturas e Ingenierías, prevista para el curso 2015-2016, se desarrolle según el modelo ordinario de la UNED, esto es, en tres convocatorias:

· febrero de 2016 (1ª y 2ª semana), para asignaturas del primer cuatrimestre y primera parte de anuales.

· junio de 2016 (1ª y 2ª semana) para asignaturas del segundo cuatrimestre y segunda parte de anuales.

· septiembre de 2016 para todas las asignaturas.

Si en alguna guía aparecen referencias sobre una sola convocatoria en febrero, esta información queda invalidada ya que tiene prevalencia la decisión del Consejo de Gobierno.

En el curso 2015-2016 esta asignatura no tendrá activado el curso virtual.

OBJETIVOS

Esta asignatura parte del conocimiento previo de Ingeniería Nuclear, en la cual el alumno ha tomado contacto con el ciclo del combustible nuclear y sus diversas fases, y conoce los fundamentos de las centrales nucleares.

Esta asignatura se centra en lo esencialmente nuclear de estas cen-trales, es decir, el reactor. Este componente posee unas peculiaridades muy singulares, basadas en la neutrónica y en la interacción de los neutrones con la materia, que es lo que constituye el cuerpo de la doc-trina de la asignatura. Aunque se supone que el alumno ha adquirido conocimientos nucleares adecuados en las asignaturas de Física Nuclear, la neutrónica es un campo absolutamente nuevo para él, que necesita todo el desarrollo que se dedica a ello en esta asignatura. Con ello se pretende que el alumno conozca sin dudas cualitativas y con notable precisión cuantitativa el comportamiento del reactor, su evo-lución cinética y la distribución espacial de sus principales magnitudes físicas, como el flujo neutrónico y la densidad de potencia.

Es conveniente ponerse en contacto con el profesor al inicio del curso.

833

CONTENIDOS

TEMA 1.**Difusión de neutrones térmicos.** 1.1. Introducción y plantea-miento. 1.2. Los parámetros nucleares del rango térmico. 1.2.1. Distribución maxweliana de energías. 1.2.2. Tasa de reacciones en el rango térmico. 1.2.3. Casos prácticos en reactores térmicos.
1.3. El término de fugas en la ecuación de la difusión. 1.4. Ley de Fick. Coeficientes de difusión. 1.5. Discusión de la ecuación de difusión. 1.5.1. Recorrido libre medio de transporte. 1.6. Condiciones de contorno y de continuidad. 1.6.1. Condición de vacio.
1.6.2. Condiciones de continuidad. 1.7. Fuentes singulares. 1.8. Resolución analítica de la ecuación de difusión. 1.8.1. Problemas de fuente. 1.9. Problemas generales en teoría de difusión. 1.9.1. Principio de superposición. 1.9.2. El caso matemáticamente homogéneo en teoría de difusión. 1.9.3. El problema general no homogéneo en teoría de difusión. 1.9.4. Métodos numéricos. (Reactores Nucleares; capítulo 8).
TEMA 2.**Moderación de neutrones.** 2.1. Introducción y planteamiento.
2.2. Análisis de la dispersión elástica. 2.3. Análisis de la colisión inelástica. 2.4. Moderación en medios infinitos sin absorbentes.
2.4.1. Moderación en hidrógeno. 2.4.2. Moderación en un medio infinito sin absorbentes, con A>1. 2.5. Teoría de la Edad de Fermi. 2.5.1. Resolución de la Ecuación de Fermi. 2.6. Probabili-dad de escape a las resonancias. 2.6.1. Moderación en un medio infinito de hidrógeno con absorbentes puros. 2.6.2. Integral de resonancia. 2.6.3. Efecto de la temperatura en las absorciones en las resonancias. 2.7. Teoría de la Edad de Fermi generalizada. 2.8. Tiempo de moderación y ciclo neutrónico. (Reactores Nucleares; capítulo 9).
TEMA 3.**Teoría del reactor térmico homogéneo.** 3.1. Introducción. 3.2. Criticidad del reactor térmico homogéneo. 3.2.1. Tamaño crítico y masa crítica. 3.2.2. Influencia de la composición en la critici-dad del reactor. 3.2.3. Reactores submoderados. 3.3. Laplacianos material y geométrico. 3.4. Cálculo de laplacianos geométricos.
3.4.1. Optimación de geometría de reactores. 3.5. El flujo neutrónico en el reactor térmico homogéneo. (Reactores Nucleares; capítulo 10).
TEMA 4.**El reactor térmico heterogéneo.** 4.1. Introducción. 4.2. Neutró-nica de la celda estructural. 4.2.1. El factor de utilización térmi-ca. 42.2. Probabilidad de escape a las resonancias. 4.2.3. Factor de fisión rápida. 4.3. Efectos de la heterogeneidad estructural. 4.4. Cálculo neutrónico del reactor heterogéneo. (Reactores Nuclea-res; capítulo 12).
TEMA 5.**Termohidráulica de reactores nucleares.** 5.1. Introducción y planteamiento. 5.2. Análisis térmico de la barrita de combustible.
5.3. Análisis térmico del canal de refrigeración. 5.4. Régimen hidráulico del refrigerante. 5.5. Balance térmico del reactor. Perfiles de temperatura. (Reactores Nucleares; capítulo 14).
TEMA 6.**Cinética de reactores nucleares.** 6.1. Objetivo del análisis ciné-tico. 6.2. Neutrones inmediatos y diferidos. 6.3. Planteamiento del análisis cinético. 6.4. Ecuaciones de balance neutrónico. 6.5. Aproximación de cinética puntual. 6.5.1. Ecuación característica de la cinética 6.5.2. Importancia cinética de los neutrones diferi-dos. 6.5.3. Período asintótico del flujo neutrónico. 6.6. Determi-nación de las constantes de integración. 6.7. Cinética del reactor con una sola familia de diferidos. 6.7.1. Ejemplos de inserciones de reactividad.

6.7.2. Valoración de la importancia de los diferi-dos. 6.8. Estudios de cinética del reactor. 6.8.1. Notas sobre la transformada de Laplace. 6.8.2. Resolución de las ecuaciones cinéticas. 6.9. Calibración de procesos cinéticos. (Reactores Nucleares; capítulo 15).
TEMA 7.**Dinámica del reactor nuclear.** 7.1. Introducción y plantea-miento. 7.2. Variables de estado de un reactor. 7.3. Efecto Dop-pler. 7.4. Coeficientes de reactividad. 7.7. Efecto de reactividad de los moderadores líquidos. 7.6. Otros efectos de reactividad.
7.7. Resumen sobre la realimentación de reactividad. 7.8. Análisis dinámico del reactor nuclear. (Reactores Nucleares; capítulo 16)
TEMA 8.**Control de reactores.** 8.1. Objetivo y función del control. 8.2. Elementos de control en un reactor. 8.3. Sistemas de protección del reactor. 8.3.1. Control general de la planta. (Reactores Nucleares; capítulo 17).
El objetivo de esta asignatura es el reactor nuclear. A través de los estudios de Física Nuclear el alumno ha tomado conocimiento de las propiedades y mecanismos interesantes que involucran al núcleo ató-mico. Con Ingeniería Nuclear ha visto qué materias primas ofrecen características explotables para obtener energía útil a partir de la ener-gía nuclear, y ha estudiado cómo se encadenan las diversas fases del ciclo del combustible nuclear, por lo cual sabe de qué materiales se parte y por qué, y así mismo sabe cuál es el resultado de la extracción de energía: junto a los kilovatios/hora queda el combustible irradiado y los residuos radiactivos, sobre cuyo tratamiento y gestión hay varias alternativas.
En Fundamentos de Ingeniería Nuclear ha quedado asimismo claro que las centrales nucleares son el centro del ciclo: en ellas se produce la energía y en ellas se amplifica la radiactividad natural. Estas centra-les son conceptualmente similares a una térmica clásica, con la salve-dad fundamental, junto a otras de ella derivadas, de que en vez de cal-dera de combustible dispone de un reactor nuclear. Éste es, como se ha dicho, el objeto de la asignatura. Conviene hacer unas observaciones generales, pues en esta asignatura resulta más importante compren-derla en su totalidad como una síntesis global que saber los detalles de cada tema. Con ello no debe el alumno hacer caso omiso de los deta-lles, porque si no parte de ellos, difícilmente podrá llegar a una sínte-sis válida. Ahora bien, el alumno no debe quedarse meramente en los detalles pues, adoptando el símil del refrán, los árboles pueden tapar-le el bosque, y en este caso el bosque es de suma importancia. ¿Por qué? Porque el reactor es uno. Es un solo sistema en cuyo seno ocurre un número elevadísimo de reacciones nucleares por segundo, induci-das por una gran población de neutrones libres, que precisamente se han desagregado de los núcleos atómicos a través de una reacción pre-cisamente: la fisión. Fisión, que como se ha estudiado ya en Física Nuclear y Fundamentos de Ingeniería Nuclear, libera energía, produce neutrones y amplifica la radiactividad originaria de su combustible. Pero el reactor es también uno en tanto que hay que extraer la energía generada a través de la pertinente refrigeración, lo cual, a su vez debi-do a la temperatura del medio repercute en las tasas de las reacciones nucleares, realimentándose los efectos nuclear y termohidráulico, lo cual es un factor de extraordinaria importancia en la dinámica del reactor. Que también lo es uno en cuanto que la radiactividad en el contenido es función de la energía generada, y dicha radiactividad ha de ser confinada en el seno del reactor para que ni en condiciones acci-dentales llegue en cantidades inadmisibles al medio ambiente huma-no. De estos últimos la Seguridad Nuclear y

Protección Radiológica. La presente asignatura trata del reactor en sí (no de sus perjuicios poten-ciales), y para ello ha de centrarse en la neutrónica pues, como se ha dicho, son los neutrones quienes inducen las reacciones nucleares y, por tanto, quienes mantienen vivo el reactor. El neutrón, a su vez, se mantiene vivo (es decir, sin ataduras a un núcleo) durante un tiempo brevísimo, menor de la diezmilésima de segundo, y a lo largo de esa vida, que es muy larga medida en tiempos nucleares característicos, el neutrón atraviesa una serie de vicisitudes que vienen a conformar el llamado ciclo neutrónico. En una primera fase cronológica, los neu-trones van perdiendo energía con el medio, en lo que se denomina **Moderación.** Una vez termalizados, es decir, una vez que los neutro-nes están con la mínima energía posible, que es la de agitación térmi-ca del medio material, los neutrones se *difunden* a través de dicho
medio hasta ser absorbidos o hasta fugarse, sucesos que representan la muerte del neutrón. Pero bastantes de las absorciones serán fisiones, lo cual multiplicará la población neutrónica, iniciándose una nueva generación. A todo este proceso, introducido aquí muy someramente para guiar al alumno, se dedican los dos primeros *Temas.* Permutando, en aras del interés académico, se comienza estudiando la **Difusión** en el *Trma 1.* El alumno verá que aquí se llega a una ecuación suficiente-mente precisa para describir cómo se distribuye en el espacio la pobla-ción neutrónica, lo cual es esencial para poder calcular la densidad de potencia (KW/litro) en cada punto del reactor. Dicha ecuación, junto a otras relaciones matemáticas del choque elástico de los neutrones contra los núcleos, van a servir para estudiar la **Moderación** en el *Tema 2*. Gracias a ella sabremos cómo van perdiendo velocidad los neutrones hasta convertirse en neutrones térmicos, que son los que demuestran mayor apetencia de fisionar núcleos de U-235. Pero la Moderación y la Difusión, como bien se intuye, no son fases disjuntas, sino al contrario, fuertemente relacionadas: es lo que el alumno verá en el *Tema3*, al estudiar el **Ciclo Neutrónico** (con mucha precisión numérica) aplicado a un **Reactor Homogéneo** por ser académicamen-te más sencillo y altamente ilustrativo. En esta lección se conjunta la Moderación y la Difusión para dar la neutrónica (estática) total del reactor: los neutrones moderados son el término fuente de la ecuación de la Difusión de neutrones térmicos; a su vez, estos neutrones térmi-cos inducen fisiones de las que se liberan los neutrones rápidos que son el término fuente de la ecuación de la Moderación. Por razones tanto físicas como tecnológicas, los reactores reales son **Heterogéneos,** que son los estudiados en el *Tema 4*, dado que presentan peculiarida-des muy diferenciadas respecto de los **Homogéneos,** pero con ello no es de esperar que el alumno encuentre dificultades. Tampoco las encontrará en el planteamiento de los siguientes *Temas,* sobre **Ter-mohidráulica** y sobre **Cinética y Control** de reactores. Es obvio que los reactores, como cualquier sistema físico, sufren alteraciones tem-porales, y es preciso conocer éstas. Aquí sí conviene hacer una adver-tencia al alumno, de carácter macroscópico, que puede guiarle en el estudio: hay que diferenciar dos tipos de alteraciones temporales: las que concurren en períodos muy cortos, del orden de la vida del neu-trón libre, que afectan a la cinética de la neutrónica y a su estabilidad; y las alteraciones producidas en plazos más largos, como son las varia-ciones en la composición isotópica, que no inciden tan dramática-mente en la cinética porque el reactor se va amoldando a ellas, aunque tienen una influencia a largo plazo que el alumno estudiará. Los dos últimos *Temas*

tiene realmente dos partes muy diferenciadas, aunque ambas hacen referencia a la protección del reactor. La primera hace referencia a las variables de estado del reactor y al uso de ésta para proteger al reactor contra excesos de. La segunda parte se estudian los sistemas para la protección del reacto como planta.

EQUIPO DOCENTE

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13):9788436249491
Título:INGENIERÍA NUCLEAR: PRÁCTICAS DE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL VÍA INTERNET (1ª)
Autor/es:Ogando Serrano, Francisco ; Rodríguez Calvo, Arturo ; Sanz Gozalo, Javier ;
Editorial:U.N.E.D.

ISBN(13):9788474841190
Título:REACTORES NUCLEARES (1ª)
Autor/es:Martínez-Val Peñalosa, José Mª ; Piera, Mireia ;
Editorial:UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES

Libros de texto:

MARTÍNEZ-VAL, J. M., y PIERA, M.: *Reactores Nucleares. Madrid.* Ed. Sección de Publicaciones de la ETSII de la UPM. (Tel.: 91 336 30 68).

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ALONSO, A. y otros: *La energía nuclear en sus aspectos básicos.* Madrid. Ed. SNE, 1984.
CARO, R.: *Física de reactores nucleares.* Madrid. Ed. JEN, 1979.
LIGOU, J.: *Installations nucleaires.* Laussanne. Ed. Presses Polytechni-ques Romandes, 1980.
NERO, AQ. V.: *A guide book to nuclear reactors.* Berkeley. University of California Press, 1979.
GLASSTONE, S., y SESONSKE, A.: *Nuclear Reactor Engineering.* Nueva York. Van Nostrand Reinhold Pub. Co., 1981.

SISTEMA DE EVALUACIÓN

La nota final de la asignatura corresponde a la obtenida en la prueba personal

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

Profesora D.ª Mireia Piera Carreté
Lunes, de 16 a 20 h. Tel.: 91 398 64 71
Despacho 2.21, ETS Ingenieros Industriales
Correo electrónico: mpiera@ind.uned.es

PRUEBAS PERSONALES

La evaluación del curso se realiza atendiendo fundamentalmente a las Pruebas Personales, pero es imprescindible decir que éstas tienen una estructura exactamente análoga a las *Pruebas de Evaluación a Dis-tancia*, conservándose también la similitud en el tipo de preguntas rea-lizadas, sean objetivas o de ensayo. (Es decir, no se prevén problemas de desconcierto de los alumnos ante las Pruebas Personales si han realizado con cierta atención las evaluaciones). Conviene indicar además que por la naturaleza de la asignatura tienen considerable relevancia las preguntas de ensayo que suponen el desarrollo de un tema, el análisis de algún proceso físico o los comentarios de discusión e interrelación entre varios puntos.
NO SE PERMITE EL USO DE NINGUN TIPO DE MATERIAL NI DE CALCULADORA.

PRÁCTICAS

Son obligatorias para poder aprobar la asignatura y consistirán en la visita a una instalacion afin al contenido de la asignatura.
Esta visita se realiza en el mes de junio, una vez efectuados los examenes presenciales.
Se avisara a los alumnos desde Secretaria con la suficiente antelacion.

IGUALDAD DE GÉNERO

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