9-10

# GUÍA DE ESTUDIO DE LDI

## INGENIERIA NUCLEAR

**CÓDIGO 01525500**

UNED

9-10

**INGENIERIA NUCLEAR**

**CÓDIGO 01525500**

# ÍNDICE

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

## OBJETIVOS

La Ingeniería nuclear se centra en el aprovechamiento eficiente y seguro de las materias primas nucleares a través de ciertas reacciones en las que intervienen las fuerzas que ligan entre sí a los constituyentes del núcleo atómico.
Esta asignatura de Ingeniería Nuclear se enfoca precisamente en estos aspectos:
–Estudio de los materiales nucleares, sus propiedades y el aprovechamiento de las mismas.
–Estudio más detallado de las reacciones nucleares y en particular de la fisión, que es hoy por hoy la reacción que sirve de base para explotar la energía nuclear.
El objetivo, pues, de esta asignatura es el conocimiento de las actividades que conforman el llamado ciclo de combustible nuclear, en el cual se encadenan los procesos mediante los cuales se extrae energía del núcleo atómico.
593

## CONTENIDOS

TEMA 1.*Introducción científica e histórica.* 1.1. El descubrimiento de la fisión y su desarrollo. 1.2. Introducción a las interacciones nucle-ares. 1.3. El carácter multidisciplinar de la ingeniería nuclear. 1.4. Ingeniería nuclear y seguridad. 1.5. Metodología de la ingeniería nuclear. (Reactores Nucleares; capítulo 1).
TEMA 2.*Radiactividad* 2.1. Modos de desintegración. 2.1.1. Radiactividad natural. 2.1.2. Inventario de radiactividad en un reactor nuclear.
2.1.3. La radiactividad en el ciclo del combustible. 2.2. Interacción de las radiaciones con la materia. 2.2.1. Partículas cargadas.
2.2.2. Radiación electromagnética. 2.2.3. Neutrones. (Reactores Nucleares; capítulo 3).
TEMA 3.*Reacciones nucleares y secciones eficaces.* 3.1 Principios y notación.
3.2. Clasificación de reacciones nucleares. 3.3. Reacciones inducidas por neutrones. 3.3.1. Cinemática del choque neutrón-núcleo. 3.4. Fisión. 3.4.1. Naturaleza de la fisión y nucleidos fisionables. 3.4.2. Energía producida en la fisión. 3.4.3. Radiactividad de los productos de fisión. 3.4.4. Multiplicación neutrónica. (Reactores Nucleares; capítulo 4). 3.5 Recorrido libre medio.
3.6. Tipología de secciones eficaces. 3.6.1. Rango térmico. 3.6.2. Rango rápido. 3.6.3. Rango intermedio. Resonancias. 3.7. Secciones eficaces fundamentales. 3.7.1. Dispersiones elásticas e inelásticas. 3.7.2. Captura. 3.7.3. Fisión. 3.7.4. Reacciones de alta energía. (Reactores Nucleares; capítulo 5).
TEMA 4.*El ciclo del combustible.* 4.1. Introducción. 4.2. Descripción básica del ciclo combustible. 4.3. Alternativas en el ciclo del combusti-ble. 4.4. Economía del ciclo del combustible. 4.5. Gestión del combustible para reactores de agua ligera. 4.6. Gestión del com-bustible nuclear para otros reactores. 4.7. Diseños del reactor y diseño de ciclos.
TEMA 5. Las fases finales del ciclo del combustible y los residuos radiactivos.
5.1. Introducción. 5.2. Almacenamiento de combustibles irradiados y de otros residuos nucleares. 5.3. Transporte de combustible irradiado. 5.4. Reelaboración del combustible irradiado. 5.5. El reciclado del combustible nuclear. 5.6. La gestión de los residuos

radiactivos. 5.7. Disposición definitiva de residuos radiactivos.
5.8. La clausura definitiva de las instalaciones nucleares .
TEMA 6.*Irradiación neutrónica y materiales.* 6.1. Introducción: quemado.
6.2. Evolución isotópica. Planteamiento general. 6.2.1. Evolución de los actínidos. 6.2.2. Productos de fisión. 6.2.3. Productos de activación. 6.3. Efectos del quemado en la reactividad. 6.3.1. Consumo de combustible nuclear. 6.3.2. Envenenamiento por

xenon-135. 6.3.3. Envenenamiento por samario-149. 6.3.4. Venenos consumibles. 6.4. Efectos de la irradiación de los materiales. 6.4.1. Efectos en el combustible. 6.4.2. Efectos en los metales. (Reactores Nucleares; capítulo 13).
TEMA 7.*El uranio.* 7.1. Los minerales. Recursos españoles del uranio. 7.2. Prospección y minería. 7.3. Los concentrados. Su obtención y su precio. 7.4. Producciones de uranio en España y en el resto del mundo. 7.5. Consumo de uranio en centrales nucleares. Consu-mo previsto en España y en el resto del mundo. 7.6. Propiedades físico-químicas del uranio más importantes para la tecnología nuclear. 7.7. Aleaciones del uranio. 7.8. Combustibles nucleares cerámicos del uranio.
TEMA 8.*El uranio enriquecido.* 8.1. Uso del uranio enriquecido. 8.2. Méto-dos posibles de separación isotópica a escala industrial. 8.3. La difusión gaseosa. Consideraciones generales. 8.4. La difusión gaseosa. Consideraciones generales. 8.5. Método de Becker o de las toberas. 8.6. Método de las centrifugadoras. 8.7. Unidad de tra-bajo de separación, capacidad o poder de separación. 8.8. Méto-do químico. 8.9. Método de láser. 8.10. Estudio comparativo de los diferenciales métodos de enriquecimiento. 8.11. Demandas previstas de trabajo de separación en todo el mundo y en nuestro país. 8.12. Coste del uranio enriquecido. 8.13. Peligros del uranio enriquecido.
TEMA 9.*El plutonio como combustible.* 9.1. El plutonio como combustible de los reactores térmicos. 9.2. La reproducción por medio del plutonio. Aspectos más importantes del problema. 9.3. El pluto-nio como combustible de reactores rápidos. 9.4. El papel del plu-tonio en la economía nuclear. 9.5. El plutonio como combusti-ble de los reactores térmicos. 9.6. La reproducción por medio del plutonio. Aspectos más importantes del problema. 9.7. El pluto-nio como combustible de reactores rápidos. 9.8. El papel del plu-tonio en la economía nuclear. 9.9. Energía obtenible del uranio según el tipo de reactor en que este se quema. 9.10. Ciclo del plu-tonio.
Este curso de Ingeniería Nuclear trata de los aspectos básicos en que se fundamentan las aplicaciones de la energía nuclear, Como materia la Ingeniería Nuclear está conectada a muy diversas ramas de la cien-cia. Desde el punto de vista académico podría por tanto considerarse que esta asignatura sería multidisciplinar, con fundamentos ligados a la termodinámica, hidrodinámica, metalurgia, materiales e incluso economía. Sin embargo, los principios físicos de estas ramas del saber se explican en otras asignaturas anteriores de la carrera y aquí, lógica-mente, cuando específicamente se requiera. El cuerpo de la asignatura estará dedicado a los temas característicos de la ingeniería nuclear, lo cual hace imprescindible cierta aclaración sobre la diferencia de obje-tivos y de metodología entre esta asignatura y la física nuclear. Con-viene indicar que la física nuclear tiene como objeto observar e inter-pretar todos los procesos de la naturaleza en los que intervienen las fuerzas

nucleares, es decir, las que ligan entre sí a los constituyentes del núcleo atómico. La física nuclear intenta elaborar modelos que expli-quen los procesos observados y predigan otros nuevos. Frente a la reac-ción de fisión, por ejemplo, la física nuclear utilizará los modelos que interpretan el comportamiento de neutrones y protones para determi-nar teóricamente las magnitudes de interés, tales como secciones efi-caces, defecto de masa, número de neutrones liberados, etc. La inge-niería nuclear, por su parte, utilizará esos conocimientos para aplica-ciones concretas, y será la fenomenología de los procesos. Por ejemplo, de la fisión, la ingeniería nuclear se interesará por la probabilidad de que ocurra con neutrones de una determinada energía, por los pro-ductos de fisión que aparecen y demás fenómenos, sin entrar en una interpretación exhaustiva de cómo y por qué se producen estos proce-sos en el microcosmos del núcleo atómico, que es lo propio de la físi-ca nuclear. La ingeniería trabajará con los fenómenos observables (a los cuales habrá que conocer exhaustivamente) e intentará extraer aplicaciones útiles a partir de ellos, ideando sistemas adecuados en los que también intervendrán otras ciencias, ya mencionadas, como la ter-motecnia y el estudio de materiales. Al ingeniero nuclear le será imprescindible conocer todas las propiedades de los materiales y pro-cesos involucrados en las aplicaciones nucleares. Estas propiedades habrán de analizarse y coordinarse para producir el bien deseado, generación de energía con absoluta seguridad

En el primer tema se enmarca el cuadro histórico de los hitos que han permitido el desarrollo de la Ingeniería Nuclear. En los dos temas siguientes, el alumno estudiara la radiactividad, las reacciones nucleares y las secciones eficaces, materias en las que no tiene que encontrar difi-cultad ya que ha estudiado una introducción a las mismas en la asigna-tura de Fundamentos de Ingeniería Nuclear. Referente al tema 4, **El ciclo del combustible nuclear y su gestión** el alumno debe situarse con la mayor claridad posible ante las preguntas: ¿qué hace y para qué sirve la ingeniería nuclear? Su objetivo final fundamental es la producción de

energía eléctrica en las centrales nucleares, y este objetivo tiene que con-seguirse a partir de unas materias primas nucleares. ¿Cuáles son éstas? Básicamente, a los minerales de uranio también podrían añadirse los de torio y dentro del uranio presenta especial significación el U-235.

El ciclo del combustible nuclear es el conjunto de actividades técnicas que hace falta desarrollar para satisfacer el objetivo antedicho. En esas actividades se generarán ciertos subproductos, o residuos, que el técnico no puede soslayar, sino que ha de solucionar (de forma económica y segura).

El primer tema es informativo, describiéndose las sucesivas fases del Ciclo. El alumno ha de procurar entender la finalidad de cada fase, lo cual le permitirá memorizar todo el conjunto de modo muy fácil, sin necesidad de otros esfuerzos que los meramente analíticos dedicados a las diversas etapas. Conviene que retenga los nombres específicos de cada actividad, porque el uso del léxico peculiar de la ingeniería nuclear le facilitará la asimilación de los conceptos nuevos.

Precisamente en el segundo tema encontrará el alumno los primeros conceptos estrictamente propios de la ingeniería nuclear. Los puntos dedicados a la gestión del

combustible nuclear y su valoración económica son el primer encuentro con las magnitudes que tipifican el comportamiento de los reactores nucleares.

En cuanto al *Tema 5* se explica todo lo referente a las fases finales del ciclo del combustible, es decir, la gestión de los residuos radiacti-vos que se generan durante la operación de las centrales nucleares, y la clausura y desmantelamiento de las mismas. Se hace especial hincapié en el concepto de Almacenamiento Geológico Profundo (AGP) para el almacenamiento definitivo de los residuos de alta actividad, pues es uno de los temas de más actualidad en relación con la imagen negati-va que muchas veces tiene el uso de la energía nuclear en la opinión pública y en el entorno político.

En el siguiente Tema, se estudia la evolución del combustible, quemado, y de los materiales sometidos a la irradiación neutrónica dentro del reactor

Ya se ha dicho que la materia prima de la ingeniería nuclear es el uranio. En este *Tema* se pasa revista a las propiedades físico-químicas del uranio y sus compuestos, así como a las propiedades nucleares de sus isótopos. Todo ello forma la base de las posibles acciones y elec-ciones en la ingeniería nuclear. El alumno puede encontrar algo tedio-sa la enumeración de propiedades, pero tiene que percatarse de que la ingeniería no hace otra cosa que aprovechar idóneamente lo que la naturaleza ofrece. Por otra parte, algunas de esas propiedades son las que imponen restricciones muy severas en los criterios de diseños y operación de las instalaciones nucleares. De todos modos, el esfuerzo memorístico no es grande, dado que existe una coherencia natural en dichas propiedades. El alumno debe esforzarse en captar ésta, y no las retahílas de números que hay en algunas tablas, necesarias como refe-rencias técnicas. En este *Tema* se exponen también las primeras fases del ciclo del combustible, novedosas en casi todos los aspectos, pero fáciles de aprehender. El alumno, las encontrará oxigenantes pues pal-pará la ingeniería después de tantas propiedades. En las secciones dedi-cadas a enriquecimiento debe comprender claramente los conceptos básicos, como fracción de corte, etapa y cascada. La descripción de los métodos es fundamentalmente informativa.

En el ultimo *Tema* se habla del Plutonio, este elemento químico no existe en la naturaleza (sólo trazas), pero sin embargo juega un papel importante en la Ingeniería Nuclear. El plutonio se produce en los reactores nucleares durante su funcionamiento, y condiciona signifi-cativamente la evolución de las características del reactor con el tiem-po. En este tema se pasa revista a las propiedades físico-químicas del plutonio y sus diversos compuestos, y las características nucleares de sus isótopos, así como los mecanismos nucleares por los cuales se gene-ra plutonio a partir de uranio.

## EQUIPO DOCENTE

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

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

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

GLASSTONE, S. y SESONSKE, A.: *Nuclear Reactor Engineering.* Nueva York, Van Nostrand Reinhold Pub. Co., 1981.

LIGOU, J.: *Installations nucleaires.* Laussanne. Ed. Presses Polytechni-ques Romandes, 1980.

NERO, A. V.: *A guidebook to nuclear reactors.* Berkeley, University of California Press, 1979.

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

**7.1. PRÁCTICAS**

Son obligatorias para poder aprobar la asignatura. Se realizará una visita a una instalación afín a los contenidos de la asignatura.

El calendario de prácticas se comunicará, por la Secretaría de la Escuela, a los alumnos matriculados en la asignatura.

Con el fin de poder organizar adecuadamente estas prácticas, el alumno deberá remitir antes del 15 de noviembre a la profesora

D.ª Mireia Piera Carreté en la Sede Central la ficha correspondiente.

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

**Profesora D.ª Mireia Piera Carreté**

Lunes, de 16 a 20 h. Despacho 2.27 Tel.: 91 398 64 70 Correo electrónico: mpiera@ind.uned.es

Fuera del horario de atención al alumno se podrán realizar consultas por teléfono o presenciales previa petición de cita realizada en horario de guardia.

Fax: 91 398 76 15

Página *web:* http://www-iener.uned.es

Para envíos postales se recomienda consignar el nombre de la profesora de la asignatura y dirigirse a:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Departamento de Ingeniería Energética Juan del Rosal, 12 28040 Madrid

## MATERIAL DIDÁCTICO

**Libros de texto:**

MARTÍNEZ-VAL, J. M. y PIERA, M.: *Reactores nucleares.* Madrid. Ed. Sec-ción de Publicaciones de la ETSII de la UPM, 1977. (Tel.: 91 336 30 68).

Apuntes facilitados por la secretaría del Departamento de Ingeniería Energética, 91 398 64 72.

---

## 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.