



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE  
INGENIEROS DE MINAS  
-----

Ríos Rosas, 21  
28003 MADRID.

**DEPARTAMENTO DE**  
**SISTEMAS ENERGÉTICOS**

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA  
***TECNOLOGÍA NUCLEAR II***

**Curso** : 5º  
**Cuatrimestre** : 1º  
**Carácter** : Optativa

**Créditos totales**  
Teóricos : 3  
Prácticos : 3

**PLAN DE ESTUDIOS 1996**

Edición 1: 2001-09-03

## TECNOLOGÍA NUCLEAR II: PROGRAMA

### a) **OBJETIVOS Y CONTENIDOS**

#### **BLOQUE 1: Evolución temporal de la potencia nuclear. Cinética puntual**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 1.1 *Diferenciar las distintas teorías de cinética puntual.*
- 1.2 *Calcular variaciones temporales del flujo neutrónico y la potencia nuclear.*
- 1.3 *Analizar el impacto de las distintas realimentaciones intrínsecas a corto y medio plazo.*
- 1.4 *Conocer los sistemas de realimentación extrínseca de la reactividad.*
- 1.5 *Comprender las causas del accidente de Chernobyl.*

##### CONTENIDOS

#### 1.1: CINÉTICA DE NEUTRONES INSTANTÁNEOS, CON UN GRUPO Y CON SEIS GRUPOS DE DIFERIDOS

- Solución para un salto instantáneo de reactividad.
- Importancia de los neutrones diferidos en el comportamiento temporal del reactor.
- Unidades de medida de la reactividad.

#### 1.2: REALIMENTACIONES A CORTO PLAZO

- Tipos de realimentaciones y constantes de tiempo asociadas.
- Coeficientes de realimentación.

#### 1.3: TRANSITORIOS CON REALIMENTACIONES A CORTO PLAZO

- Transitorios PWR de extracción y expulsión de barras.
- Transitorios PWR de disminución de la temperatura del moderador.
- Transitorios BWR de aumento y disminución del caudal de recirculación.
- Transitorios BWR de aumento de presión.

#### 1.4: REALIMENTACIONES A MEDIO PLAZO

- Evolución temporal de las concentraciones del Xe-135 y el Sm-149.
- Impacto del Xe-135 y el Sm-149 en arranque, parada y cambios de potencia.

#### 1.5: REALIMENTACIONES A LARGO PLAZO

- Impacto del quemado del combustible en el exceso de reactividad.

#### 1.6: ELEMENTOS DE REGULACIÓN DE LA POTENCIA

- Barras de control: valor diferencial, valor integral, inserción de bancos con solape y límite de inserción de bancos.

- Otros sistemas: Venenos solubles, caudal por el núcleo, temperatura del moderador.

#### 1.7: ACCIDENTE DE CHERNOBYL

- Descripción de la secuencia del accidente.
- Análisis de las causas del accidente y lecciones aprendidas.

### **BLOQUE 2: Sistemas de control en centrales nucleares**

#### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 2.1 Conocer los sistemas de control en reactores de agua a presión y agua en ebullición.*
- 2.2 Distinguir las filosofías de control de los reactores de agua a presión y agua en ebullición.*

#### CONTENIDOS

##### 2.1: SISTEMAS DE CONTROL EN REACTORES DE AGUA A PRESIÓN.

- Controles del sistema primario: Control de barras, control de presión y control de nivel en el presionador.
- Controles del sistema secundario: Control de nivel de los generadores de vapor, control de la descarga de vapor, control digital electrohidráulico.
- Actuación de los controles en un rechazo de carga.

##### 2.2: SISTEMAS DE CONTROL EN REACTORES DE AGUA EN EBULLICIÓN.

- Control de nivel.
- Control de presión.
- Control de caudal de recirculación.
- Actuación de los controles en un transitorio de disminución de caudal de recirculación.

### **BLOQUE 3: Termohidráulica en reactores nucleares**

#### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 3.1 Calcular los parámetros termohidráulicos de un reactor nuclear.*
- 3.2 Analizar los parámetros térmicos en un elemento combustible desde el punto de vista de la seguridad.*

#### CONTENIDOS

##### 3.1: TRANSMISIÓN DE CALOR EN UN REACTOR NUCLEAR

- Generación y deposición del calor generado en un reactor.
- Transmisión de calor en el conjunto combustible-vaina.
- Transporte de masa y energía en el reactor.

### 3.2: LÍMITES TÉRMICOS

- Límites térmicos en reactores de agua a presión.
- Límites térmicos en reactores de agua en ebullición.

## **BLOQUE 4: Gestión del combustible. Recarga del reactor**

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 4.1 Comprender los objetivos y limitaciones de la gestión del combustible y el núcleo.*
- 4.2 Analizar las distintas estrategias de recarga.*
- 4.3 Comprender la metodología de cálculo de la recarga.*

### CONTENIDOS

#### 4.1: GESTIÓN DEL NÚCLEO

- Objetivos y limitaciones en la gestión del núcleo.

#### 4.2: GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE

- Objetivos y limitaciones en la gestión del combustible.
- Estrategias de recarga en reactores PWR y BWR. Evolución histórica.
- Optimización de los esquemas de recarga.

#### 4.3: METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA RECARGA

- Cálculos de celda.
- Condensación y homogeneización.
- Cálculos del reactor.
- Programas de simulación utilizados en la industria.

## **BLOQUE 5: Seguridad nuclear. Normativa**

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 5.1 Comprender los conceptos básicos de la seguridad nuclear.*
- 5.2 Comparar las metodologías de evaluación de la seguridad.*
- 5.3 Conocer la normativa aplicable en España.*

### CONTENIDOS

#### 5.1: CONCEPTOS BÁSICOS DE LA SEGURIDAD NUCLEAR

- Concepto de riesgo.
- Seguridad intrínseca y seguridad mediante sistemas.

- Redundancia.
- Seguridad en profundidad.

## 5.2: MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y ANÁLISIS

- Metodología determinista: Análisis de seguridad (SAR). Envoltente de seguridad.
- Análisis probabilista de seguridad (APS). Árboles de sucesos y árboles de fallos.

## 5.3: NORMATIVA

- Normativa en España.

# BLOQUE 6: Fusión nuclear

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

6.1 *Comprender los conceptos asociados a la fusión nuclear.*

6.2 *Comprender las distintas tecnologías de fusión.*

## CONTENIDOS

### 6.1 TEORÍA DE LA FUSIÓN NUCLEAR

- Reacciones de fusión.
- Propiedades del plasma.
- Criterio de Lawson.

### 6.2 TECNOLOGÍAS DE FUSIÓN

- Confinamiento magnético.
- Confinamiento inercial.
- Situación actual y futura.

## ***b) BIBLIOGRAFÍA***

### BÁSICA:

- KNIEF, R. A. *Nuclear Engineering*. Taylor & Francis, 2ª Ed., Washington, 1992.
- LAMARSH, J. R. *Introduction to Nuclear Engineering*. Addison Wesley, Reading, MA, 1983.
- QUERAL, C.; MULAS, J. *Apuntes de la asignatura*. Madrid, Enero 2000
- TODREAS, N. E.; KAZIMI, M. S. *Nuclear Systems I*. Hemisphere Publishing Corporation. Nueva York, 1990.

## COMPLEMENTARIA:

- DUDERSTADT, J.; HAMILTON, L. *Nuclear Reactor Analysis*. John Wiley & Sons Inc. Nueva York, 1976.
- GLASSTONE, S.; SESONSKE, A. *Nuclear Reactor Engineering*. Chapman & Hall, 4ª Ed., Nueva York, 1994.
- MARTÍNEZ-VAL, J.M.; PIERA, M. *Reactores nucleares*. Sección de Publicaciones de la ETSI Industriales de Madrid, UPM, Madrid, 1997.

**c) PRÁCTICAS EN GRUPOS REDUCIDOS**

Se realizarán un conjunto de prácticas en grupos reducidos de 16 alumnos en equipos de hasta 3 alumnos. A los alumnos se les entregará un guión de prácticas. Se incluirán cuestiones y ejercicios que los alumnos deberán resolver. Los alumnos de cada grupo deberán entregar un informe de las prácticas realizadas junto con las cuestiones y ejercicios resueltos.

**d) MÉTODO DE EVALUACIÓN**

La nota de la asignatura se compone de las notas de examen – Teoría ( $T$ ) y ejercicio práctico ( $E$ ), puntuando cada una sobre diez – y de ejercicios propuestos ( $n_{te}$ ). La nota no podrá ser superior o igual a cinco (aprobado) si la calificación de una de las partes,  $T$  o  $E$ , es inferior a tres. Los ejercicios propuestos de forma aleatoria al final de clase ( $n_{te}$ ) podrán subir la nota en un punto según la fórmula expuesta más abajo, siempre que la nota del examen sea igual o superior a cinco. La nota final podrá ser complementada con trabajos opcionales, que requieren un informe y que serán evaluados, una vez aptos con 1 punto cada uno. Este complemento ( $P_{extra}$ ) sólo se aplica cuando la nota final de la asignatura es mayor o igual a cinco.

$$N = \frac{T + E}{2} + \frac{n_{ea}}{n_{te}} + P_{extra}$$

Siendo:  $N$  = Nota de la asignatura.  $T$  = Examen de teoría.  $E$  = Ejercicio práctico.  $n_{ea}$  = número de ejercicios de clase aptos.  $n_{te}$  = número total de ejercicios propuestos.  $P_{extra}$  = número de trabajos personales aptos (puntos extra).