

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO

06 82.29

CNEA-AC 1/82

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y MEDIO AMBIENTE

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
Facultad de Ingeniería

Curso de post-grado en
PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD NUCLEAR

PROGRAMA TEMATICO

Buenos Aires
1982

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y MEDIO AMBIENTE

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
Facultad de Ingeniería

Curso de post-grado en
PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD NUCLEAR

PROGRAMA TEMATICO

Buenos Aires
1982

i. CLASES INTRODUCTORIAS DE ECUALIZACION

i. 1. MATEMATICAS

i. 2. FISICA

i. 3. QUIMICA

i. 4. BIOLOGIA

I. FORMACION BASICA

I.1. ELEMENTOS DE RADIOACTIVIDAD

I.1.1. Radiactividad; desintegración nuclear y energía de desintegración; estadística de las desintegraciones nucleares y ley de decaimiento exponencial; constante de desintegración, período de semidesintegración y vida media.

I.1.2. Actividad, unidades y actividad específica; transformaciones radiactivas sucesivas; equilibrio radiactivo; ecuaciones de Bateman; series radiactivas naturales; el descubrimiento de la radiactividad artificial, los nucleidos artificiales.

I.1.3. Emisión alfa; energía; espectros; niveles nucleares; teoría de la desintegración alfa; detección de partículas alfa. Emisión beta (positiva y negativa); energía y espectros de la radiación beta, neutrino; captura electrónica, rayos X característicos y electrones Auger. Emisión gamma; energía de los rayos gamma; desintegración gamma; conversión interna; isomería nuclear. Tabla de nucleidos.

I.2. REACCIONES NUCLEARES

Reacciones nucleares; modelo del núcleo compuesto; energía de excitación, niveles nucleares, vida media y ancho de línea; conservación de la cantidad de movimiento, barrera de poten-

cial; sección eficaz de las reacciones nucleares, medida de sección eficaz por el método de activación; fisión, relación entre potencia térmica liberada en material fisionable y promedio de la densidad del flujo neutrónico, rendimiento de fisión, cálculo de la actividad de productos de fisión y de la mezcla.

I. 3. INTERACCION DE LA RADIACION CON LA MATERIA

I. 3. 1. Conceptos generales; ionización, ionización específica, excitación, frenamiento, sección eficaz macroscópica, camino libre medio.

I. 3. 2. Interacción de la radiación directamente ionizante; interacción elástica e inelástica con núcleos y electrones, bremsstrahlung y su dependencia con el número atómico; ley de Bragg, transferencia lineal de energía; energía impartida, energía media impartida, energía específica impartida.

I. 3. 3. Interacción de radiación electromagnética, efectos fotoeléctrico, Compton y formación de pares; coeficientes de atenuación, hemiespesor, factor de multiplicación (build-up); radiación de aniquilamiento.

I. 3. 4. Interacción de neutrones: reacciones nucleares, dispersión elástica e inelástica, atenuación de un haz de neutrones.

I. 4. ELEMENTOS DE NEUTRONICA

- I.4.1. Difusión de neutrones: condiciones de contorno; fuente puntual; fuente plana; moderación; sistemas de referencia; poder de moderación y relación de moderación; letargia.
- I.4.2. Moderación de un medio infinito: moderación continua, modelo de la edad de Fermi; longitud de moderación y de difusión.
- I.4.3. Condiciones de criticidad; fórmula de los cuatro factores; teoría de un grupo; teoría de dos grupos; método de la difusión-edad; probabilidad de permanencia; k_{ef} ; tamaño crítico.
- I.4.4. Reactores homogéneos; cálculo del tamaño crítico, reactores heterogéneos, red óptima; determinación experimental del tamaño crítico.
- I.4.5. Control de reactores: vida neutrónica; fracción de neutrones retardados; reactividad; período; efecto de temperatura; efecto de vacío; envenenamiento por Xe y Sm; balance de reactividad; control del reactor, barras; inyección de venenos.
- I.5. MEDICION DE LA RADIACION
 - I.5.1. Principios de detección de la radiación
 - I.5.1.1. Detectores por ionización: Detectores gaseosos: cámara de ionización, contador proporcional, tubo Geiger-Müller. Detectores semi-conductores: principios básicos, diversos tipos.

- I.5.1.2. Detectores por excitación: Detectores inmediatos: centelladores sólidos y líquidos; fotomultiplicadores. Detectores retardados: termoluminiscentes (TLD), radiofotoluminiscentes (RPL), por emisión exoelectrónica (TSEE y LSEE), y por emulsión fotográfica.
- I.5.1.3. Detectores de neutrones: gaseosos y sólidos, por reacción (n, α), por reacción (n,p), por fisión y por activación.
- I.5.2. Elementos de instrumentación nuclear.
 - I.5.2.1. Procesamiento analógico de la información: factores que afectan la resolución de energías en espectroscopía; preamplificador y amplificador principal; conformación de pulsos.
 - I.5.2.2. Analizador monocanal: objeto de su utilización; concepto de "canal"; descripción de sus partes constituyentes, diagrama de bloques; coincidencias y anticoincidencias: concepto, diagrama de bloques y campo de aplicación; amplificador ventana.
 - I.5.2.3. Analizador multicanal; objeto de su utilización, descripción de sus partes constituyentes, diagrama de bloques y campo de aplicación.
 - I.5.2.4. Aspectos generales de la espectrometría de energías
- I.5.3. Estadística aplicada a las mediciones de radiactividad

- I.5.3.1. Elementos de probabilidad aplicada a la estadística. Distribuciones. Valores centrales: promedio, modo y mediana. Dispersión, desviación standard. Distribuciones binomial, de Poisson, exponencial, gamma, normal y log-normal. Regresión y correlación.
- I.5.3.2. Aplicación a las mediciones de actividad; problemas estocásticos en la medición de la actividad; estimación del valor medio y de la desviación standard; intervalo de confianza; combinación de varias mediciones independientes; aplicación al caso de tasas netas de conteo y suma de varias tasas de conteo. Aplicación de la distribución de Poisson y distribución de tiempos entre cuentas, aplicación de la distribución exponencial y la distribución gamma.
- I.5.3.3. Fluctuaciones estadísticas en la medida de energías: resolución; performance de un sistema de instrumentación.

PROTECCION RADIOLOGICA

II.1. ASPECTOS GENERALES

II.1.1. Radiodosimetría

- II.1.1.1. Conceptos generales. Magnitudes dosimétricas estocásticas y no-estocásticas. Fluencia, flujo, densidad de flujo y tasa de fluencia. Energía específica y dosis absorbida, unidades (Gray y rad). Exposición, unidades. Kerma,

unidades. Relaciones entre estas magnitudes en distintas condiciones. Transferencia lineal de energía. Dosis equivalente, unidades (Sievert y rem). Magnitudes dosimétricas usadas para especificar situaciones sin receptor; índice de dosis absorbidas; índices "superficiales" y "profundos". Conceptos de dosis equivalente efectiva, dosis comprometida, dosis colectiva y dosis colectiva comprometida. Relación entre la dosis comprometida (o la dosis colectiva comprometida) y las tasas de dosis en el futuro, en el caso de prácticas continuadas.

- II.1.1.2. Cálculo de dosis en la irradiación externa. Radiación alfa y beta. Radiación gamma; equilibrio electrónico; cálculo de exposición, kerma y dosis absorbida. Neutrones térmicos, epitérmicos y rápidos; cálculo de kerma y dosis absorbida. Aspectos geométricos, fuentes puntuales, planas y volumétricas. Teorema de reciprocidad.
- II.1.1.3. Cálculo de dosis en la contaminación interna. Metabolismo de los radionucleídos; incorporación por inhalación, ingestión, absorción a través de la piel y por heridas; transporte, depósito y eliminación. Modelos propuestos por la ICRP (International Commission on Radiological Protection); funciones aproximadas de retención, eliminación y cálculo de dosis con dichos modelos.
- II.1.2. Efectos biológicos de la radiación

- II.1.2.1. Efectos de la radiación ionizante al nivel celular; su importancia para la interpretación de los efectos de la irradiación en el hombre. Efectos de la radiación ionizante en animales de experimentación; efectos tempranos; efectos estocásticos somáticos y hereditarios; efectos sobre la embriogénesis. Relaciones dosis-respuesta para estos tipos de efectos; posibilidades de extrapolación a la irradiación humana.
- II.1.2.2. Efectos no estocásticos en el hombre. Efectos tempranos de la irradiación de los órganos hematopoyéticos, del tracto gastro-intestinal y del sistema nervioso central. Casos de irradiación combinada; síndrome agudo de irradiación. Irradiación de otros órganos a dosis elevadas; irradiación del pulmón; irradiación de la piel. Relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta; influencia de la tasa de dosis y del fraccionamiento. Efectos tardíos; efectos en la piel; efectos diversos dependientes de la acción de la radiación sobre la vascularización; relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta; influencia de la dosis por unidad de tiempo y del fraccionamiento.
- II.1.2.3. Efectos estocásticos somáticos en el hombre. Orígenes de la información existente sobre la radioinducción de neoplasias malignas en el hombre; estudios epidemiológicos. Información cuantitativa sobre la inducción de leucemia, cancer de pulmón, cáncer de mama y otros cánceres. Distribución temporal de la inci-

dencia. Relaciones dosis-respuesta; la hipótesis de proporcionalidad en la región de bajas dosis y sus implicancias para la radioprotección.

II.1.2.4. Efectos estocásticos hereditarios. Ausencia de información humana; requerimientos en cuanto a tamaño de población irradiada y dosis para hacer factible la obtención de información humana. Información experimental y bases para la extrapolación al hombre. Efectos genéticos puntuales y por alteraciones cromosómicas. Relación dosis-respuesta estimada por métodos directos y por el método de la "dosis dobladora". Fracción de los efectos genéticos que se expresan en la primera y segunda generación; implicancias para la radioprotección.

II.1.2.5. Efectos sobre la embriogénesis. Efectos de la irradiación pre-implantación, post-implantación embrionaria y fetal. Información humana y de animales de experimentación. Relaciones dosis-respuesta. Influencia del estadio evolutivo en el momento de la irradiación; implicancias para la radioprotección.

II.1.3. Criterios básicos de protección radiológica

II.1.3.1. Objetivos de la protección radiológica. Evolución de los conceptos de protección radiológica. Recomendaciones de la ICRP. Protección individual y limitación del impacto total de una fuente o práctica. Conceptos de riesgo y de-

trimento. Criterios modernos de protección: justificación de la práctica, optimización de la protección y limitación de la dosis individual.

II.1.3.2. Optimización de la protección. Objetivo. Componentes del detrimento. La dosis colectiva comprometida como indicador del detrimento sanitario. El costo del detrimento. El caso ideal de optimización. Optimización de subsistemas independientes. El caso general de optimización. Problemas especiales; los nucleídos de vida muy larga; casos en que no coinciden en tiempo los gastos de protección y el detrimento.

II.1.3.3. Limitación de la dosis individual. Objetivo. Límites de dosis, límites secundarios, límites derivados y límites autorizados. Límites de dosis para la exposición ocupacional, límites secundarios. Límites de dosis para miembros individuales del público. Grupo crítico. Control de las dosis contribuídas por una práctica. Control de las dosis futuras debidas a prácticas continuadas. Fijación de límites autorizados. Situaciones anormales, intervención y niveles de intervención.

II.2. ASPECTOS OPERACIONALES DE LA PROTECCION RADIOLOGICA

II.2.1. Protección radiológica ocupacional

- II.2.1.1. Organización de la radioprotección ocupacional. Responsabilidades. Clasificación de las condiciones de trabajo. Establecimiento de áreas controladas y supervisadas. Restricción de la exposición a radiación en los casos de exposición externa y de contaminación. Requerimientos de monitoreo. Control médico. Intervención en situaciones anormales.
- II.2.1.2. Monitoreo de la exposición ocupacional. Análisis de la filosofía general recomendada por la ICRP en la Publicación ICRP N°12; interpretación de los resultados de un programa de monitoreo.
- II.2.1.3. Monitoreo individual. Exposición externa; relaciones entre el valor registrado y el índice de dosis; relación con otras magnitudes. Contaminación interna; relación entre la actividad en el cuerpo o en las excretas y la incorporación de radionucleidos. Métodos de monitoreo individual de la exposición externa y de la contaminación interna. Instrumentación.
- II.2.1.4. Monitoreo del área de trabajo. Monitoreo de campos de radiación. Monitoreo del aire. Monitoreo de superficies. Interpretación de los resultados del monitoreo de áreas de trabajo. Métodos de monitoreo de áreas de trabajo. Instrumentación.
- II.2.1.5. Monitoreo de la exposición a radón e hijas de

radón en minas de uranio. Problemas especiales y comparación de los diferentes métodos. Instrumentación.

II.2.2. Protección radiológica del público

- II.2.2.1. Criterios generales para la limitación de la descarga de efluentes radiactivos al ambiente; limitación de la dosis en el grupo crítico; optimización. Estudios preoperacionales; identificación de las vías y grupos críticos. Discusión sobre los componentes de las dosis colectiva comprometida. Previsión de las dosis individuales futuras debidas a la continuación de la práctica y a la introducción de nuevas instalaciones. Fijación de límites autorizados de descarga.
- II.2.2.2. Modelos de estimación de dosis individuales y colectivas debidas a la liberación de material radiactivo al ambiente. Vías de irradiación; inmersión; inhalación; irradiación por actividad depositada; ingestión por la cadena alimenticia. Modelos dosimétricos. Modelos de transferencia dependientes del tiempo y modelos de transferencia integral. Modelos que permiten estimar la dosis colectiva sin conocer las dosis individuales.
- II.2.2.3. Dispersión de materiales radiactivos en los medios receptores primarios. Dispersión meteorológica; efectos de transporte y difusión; turbulencia; clases de estabilidad. Modelos de

dispersión; factor de dispersión. Casos de introducción de material radiactivo a la atmósfera en forma casi instantánea, prolongada o anual.

II.2.2.4. Dispersión de materiales radiactivos en los medios receptores primarios. Dispersión hidrológica. Dispersión en ríos; modelos dependientes del tiempo y de transferencia integral; distancia de mezcla homogénea, medios experimentales de determinación. Dispersión en lagos. Dispersión en el mar.

II.2.2.5. Monitoraje de la descarga de material radiactivo. Monitoraje de la contaminación ambiental. Evaluación de la exposición individual y colectiva a partir de información provista por el monitoraje. Uso de los resultados para mejorar los modelos de estimación.

II.3. ASPECTOS TECNOLOGICOS DE LA PROTECCION RADIOLOGICA

II.3.1. Sistemas de protección para la radiación externa

II.3.1.1. Blindajes. Cálculo y diseño de blindajes para radiaciones gamma; haz directo y radiación dispersa; factor de multiplicación; influencia de la geometría de la fuente; influencia de ductos; influencia de laberintos. Blindajes para radiación beta; selección de materiales; radiación de frenado. Blindaje para radiación neutrónica;

haz directo y radiación dispersa; activación de los materiales blindantes. Aspectos térmicos en los blindajes. Optimización de blindajes.

II.3.1.2. Elementos de operación a distancia. Telemanipuladores. Ventanas blindadas. Periscopios y televisión. Aspectos de radiación externa en el diseño de celdas calientes. Diseño de instalaciones de irradiación gamma. Diseño de contenedores para fuentes de alta actividad.

II.3.2. Sistemas de protección para la contaminación

II.3.2.1. Física de los aerosoles. Tipos de aerosoles. Sedimentación de los aerosoles; velocidad de sedimentación. Vida media de los aerosoles. Procesos de aglomeración. Separación inercial. Separación por filtración. Difusión. Separación térmica y electrostática.

II.3.2.2. Sistemas de purificación del aire. Selección de sistemas de precipitación y de filtración. Optimización de sistemas de purificación del aire. Ventilación; bases de diseño; optimización. Aislamiento de la contaminación. Aspectos de contaminación en el diseño de celdas calientes. Caja de guantes; sistemas de entrada y salida.

II.3.2.3. Ventilación en yacimientos de uranio. Características de la mezcla de descendientes del

radón que influyen en el diseño de la ventilación. Requerimientos básicos del diseño de ventilación de yacimientos. Optimización.

- II.3.2.4. Decontaminación de materiales y equipos. Métodos. Factores de decontaminación. Equipos y laboratorios de decontaminación.

- II.3.3. Gestión de residuos radiactivos

- II.3.3.1. Sistemas de control de la descarga de efluentes radiactivos. Sistemas por decaimiento y por purificación. Bases de diseño. Optimización. Ejemplos en reactores nucleares. Aspectos tecnológicos de la descarga atmosférica y en aguas superficiales.
- II.3.3.2. Clasificación de los residuos radiactivos y criterios generales de gestión. Principio del aislamiento necesario. Eliminación superficial en tierra. Inmersión de los residuos en el mar según la Convención de Londres. Eliminación en formaciones geológicas: análisis térmico y del impacto radiológico.
- II.3.3.3. Tecnología de condicionamiento de residuos radiactivos. Procesos de concentración para líquidos. Procesos para sólidos. Procesos específicos para los residuos de alta actividad.

- II.3.4. Transporte de materiales radiactivos

Reglamentos, propósito y aplicación. Embalajes. Actividades límites. Prueba de embalajes. Controles para el transporte y almacenamiento. Requisitos administrativos.

II.4. ASPECTOS PARTICULARES DE PROTECCION RADIOLOGICA EN USO DE RAYOS X

II.4.1. Descripción general de los equipos de rayos X

- II.4.1.1. Generalidades: Rayos X, origen, naturaleza, características del espectro. Clasificación general de los equipos y del uso: uso en diagnóstico médico y odontológico, radioterapia convencional, uso industrial y de investigación.
- II.4.1.2. Componentes de un equipo generador de rayos X: tubo de rayos X (diversos tipos), fuente de alimentación, rectificación, componentes auxiliares, contadores de tiempo.
- II.4.1.3. Parámetros que regulan la emisión en un equipo generador de rayos X: diferencia de potencial, intensidad de corriente y tiempo.
- II.4.1.4. Formación de la imagen radiológica: filtración inherente y adicional, atenuación en diferentes medios, contraste. Película radiográfica y procesado. Influencia de la diferencia de potencial aplicada al tubo, la filtración y la forma de ondas en la imagen radiográfica. Pantallas fluoroscópicas, pantallas intensificadoras, grillas antidifusoras, cinefluorografía.

II.4.2. Radioprotección en el uso de rayos X. Recomendaciones de la ICRP (Publicaciones N°15, 16, 21, 26). Aplicación de los principios de protección radiológica al uso de rayos X; diseño de servicios radiológicos de diagnóstico y terapia; aplicación del cálculo de blindaje estructural; protección del personal y miembros del público. Protección del paciente; factores que influyen en las dosis al paciente en radiodiagnóstico: colimación y filtración, diferencia de potencial aplicada al tubo, pantalla fluoroscópica, película y pantalla reforzadora, revelado. Aspectos particulares de distintas técnicas de radiología médica (mamografía, abeugrafía, tomografía, tomografía computada, etc.). Aspectos particulares de la radioterapia. Aspectos particulares de la radiografía industrial y de la investigación.

II.4.3. Calibración, monitoreo y evaluación. Calibración de las fuentes de rayos X: determinación del rendimiento en profundidad, espesores hemireductores, utilización de fantomas; instrumental y equipos necesarios. Técnicas de evaluación en servicios de radiodiagnóstico.

III. SEGURIDAD NUCLEAR

III.1. PREVENCIÓN DE ACCIDENTES DE CRITICIDAD

III.1.1. Introducción

Constantes nucleares macro y microscópicas; secciones eficaces parciales y totales en función de la energía y distribución angular. Tipos de interacción de neutrones con la materia; concep-

tos de difusión y absorción; reacciones (n,n') , $(n,2n)$, $(n,3n)$, (n,γ) , $(n,\text{partícula cargada})$; reacciones de fisión; secciones térmicas; reducción a constantes de grupo.

III.1.2. Sistemas críticos

Parámetros que afectan la criticidad de un sistema. Criterios para el análisis de estados críticos. Factor de multiplicación, k_{∞} y k_{ef} . Teoría de los cuatro factores. Criterio para la determinación del tamaño crítico en función del factor de multiplicación superficial. Efecto e importancia de límites y reflectores. Autodistribución. Iniciación de una excursión supercrítica, multiplicación y reflexión. Condiciones de criticidad en términos de multiplicación y reflexión. Multiplicación de un núcleo "reflejado". Factores que afectan a la multiplicación superficial, distribución angular de los neutrones incidentes, espectro de energía, tamaño, forma y material del núcleo. Factores que afectan a la reflexión. Multiplicación por fuente central. Comparación entre tamaños críticos desnudos y reflejados.

III.1.3. Análisis de los parámetros estudiados en la prevención de criticidad

Geometría; relación superficie-volumen. Masa; relaciones entre masa crítica y volumen crítico; densidad; leyes de proporcionalidad de densidades; aplicaciones a distintas geometrías. Concentración; dilución; adición de centros de dis-

persión de moderación y de absorción. Casos especiales de dilución del núcleo con U^{238} , con agua o sin ella. Moderación. Reflexión. Absorción. Uso de venenos. Grado de enriquecimiento. Homogeneidad. Interacción. Criterios para el análisis de sistemas críticos basados en el k_{ef} de la teoría de reactores.

III.1.4. Interacción y almacenamiento

Redes. Problemas de disolventes. Conjuntos que interaccionan; definición de los parámetros de interacción; utilización y propiedades de los parámetros de interacción; distancia de aislamiento; aproximación de Oak Ridge; estimación de los parámetros de interacción para conjuntos espaciados por aire; definición del ángulo sólido; método del ángulo sólido; anisotropía. Método del parámetro de interacción en la práctica, piezas en un medio material, piezas fijas en el espacio. Ejemplos de problemas de interacción; almacenamiento de combustibles; mezclas UO_2F_2/H_2O y soluciones en cilindros.

III.1.5. Análisis de problemas prácticos de prevención de criticidad

Sistemas metálicos, seguridad en unidades aisladas y en conjunto aplicando los criterios de los parámetros de interacción. Seguridad en unidades aisladas y en conjuntos basada en el k_{cf} . Método general para el control de la criticidad; control único y múltiple; principio de la doble eventualidad. Aplicaciones de

las normas, concepción de las instalaciones desde el punto de vista del control de la criticidad, filosofía general. Plantas químicas; tipos de procesos; sustancias químicas que aparecen en el proceso; búsqueda de la peor combinación por medio de las variables de operación; definición de áreas con control de criticidad, áreas libres, seguridad por criticidad en plantas químicas.

III.1.6. Consecuencias de un accidente de criticidad

Parámetros característicos de un accidente; características de una excursión crítica. Riesgos asociados a un accidente de criticidad. Detección de excursiones críticas.

III.1.7. Seguridad en el transporte de material fisiónable especial

Consideraciones básicas de un diseño; efecto de densidad y espesor; especificaciones para un recipiente de transporte. Reglamento del OIEA en lo referente a material fisiónable especial.

III.2. SEGURIDAD DE REACTORES NUCLEARES

III.2.1. ASPECTOS GENERALES

III.2.1.1. Inventario radiactivo del núcleo

Actividad total y actividad de los nucleidos de importancia radiológica en caso de accidentes: yodos, gases nobles y elementos volátiles. Generación de calor por decaimiento radiactivo. Liberación de material radiactivo de los elementos combustibles en caso de accidentes.

III.2.1.2. Consecuencias de la liberación de materiales radiactivos al ambiente

Dispersión micrometeorológica. Modalidades de irradiación: irradiación externa por la nube, inhalación, irradiación externa por depósito y contaminación de las cadenas alimenticias. Distribución temporal de las distintas modalidades de irradiación. Oportunidad de aplicación de contramedidas.

III.2.1.3. Conceptos generales de seguridad nuclear

El equilibrio entre la producción y remoción de calor. Transitorios y situaciones accidentales. Barreras entre el material radiactivo y el público. Accidentes, probabilidades y consecuencias. Criterios de aceptabilidad.

III.2.2. ASPECTOS DE SEGURIDAD NUCLEAR EN LA UBICACION DE CENTRALES NUCLEARES

III.2.2.1. Evaluación radiológica de un emplazamiento

Estudios preoperacionales, vías y grupos críticos. Evaluación de la exposición en operación normal y en accidentes. Calificación de los emplazamientos por la distribución de población.

III.2.2.2. Características del sitio que pueden afectar la seguridad de las centrales nucleares

III.2.2.2.1. Sismología. Intensidad de terremotos, magnitud de los sismos. Escalas, información testimonial y registros instrumentales, energía liberada. Espectro de respuestas y espectros de Fourier. Estudio sismológico de un emplazamiento y estudio geotectónico. Identificación del sismo base de parada rápida (S_2) y del sismo base de operación (S_1). Estimación del riesgo de exceder los valores S_1 y S_2 .

III.2.2.2.2. Condiciones meteorológicas extremas. Vientos y precipitaciones extremas, tornados, huracanes. Análisis estadístico de valores extremos; intervalo medio de recurrencia. Determinación de bases de diseño.

III.2.2.2.3. Inundaciones en sitios vecinos a ríos, lagos y mar. Determinación de bases de diseño.

III.2.2.2.4. Eventos externos imputables al hombre. Identificación de las fuentes y evaluación. Explosiones y nubes explosivas. Liberación de productos tóxicos y corrosivos. Impacto de aviones.

III.2.2.2.5. Otros aspectos de la ubicación que influyen en la seguridad. Disponibilidad de refrigeración. Fundaciones, capacidad portante, asentamientos previstos. Accesos y vías potenciales de evacuación. Zonificación.

III.2.3. ASPECTOS DE SEGURIDAD EN EL DISEÑO DE CENTRALES NUCLEARES

III.2.3.1. Confiabilidad

Definiciones: función de sobrevivencia, frecuencia de fallas, tasa de fallas, confiabilidad, tiempo medio entre fallas. Relaciones entre estos parámetros. Confiabilidad de sistemas en serie y paralelo, y de sistemas con reserva. Efecto del mantenimiento sobre la confiabilidad de sistemas que deben responder ante demandas; efecto de la redundancia. Confiabilidad en la seguridad y en la disponibilidad.

III.2.3.2. Sistemas operativos del reactor

Núcleo, sistema primario de presión, sistemas de transporte y remoción de calor, sistema de control. Problemas típicos del refrigerante en situación normal y en accidentes. Compatibilidad de materiales. Aspectos de seguridad en el diseño de elementos combustibles.

III.2.3.3. Sistemas de protección y mitigación

Sistema de parada rápida, remoción del calor

residual, alimentación eléctrica esencial. Contención, simple y doble; evaluación del escape de material radiactivo en ambos casos; evaluación de los efectos mecánicos de presurización debida a fallas del sistema primario de presión.

III.2.3.4. Análisis de riesgos

Límites de la variación normal de parámetros relacionados con la seguridad. Transitorios. Condiciones de accidente. Eventos iniciantes, demanda de acciones protectivas, árbol de eventos y fallas. Análisis de confiabilidad requerida. Accidentes típicos; de reactividad, transitorios anticipados sin parada rápida; de pérdida de refrigeración por falta de alimentación eléctrica, bloqueo de bombas y válvulas y por pérdida de masa o presión del refrigerante; eventos iniciantes en el lado del secundario; otras pérdidas del sumidero de calor. Accidentes relacionados con el movimiento y almacenamiento de elementos combustibles irradiados. Accidentes relacionados con el sistema de gestión de residuos radiactivos.

III.2.3.5. Diseño antisísmico

Objetivos del proyecto sismo-resistente. Comportamiento estructural. Clasificación de sistemas, estructuras y componentes. Análisis dinámico de estructuras y sistemas. Análisis modal; superposición de efectos modales; diagrama envolvente de solicitaciones.

III.2.3.6. Diseño contra el fuego

Prevención de incendios; detección y lucha contra el fuego; mitigación de los efectos de un incendio. Efectos secundarios del fuego: liberación de sustancias tóxicas y corrosivas; interferencia en la función normal de sistemas o estructuras.

III.2.4. ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

III.2.4.1. Programa de aseguramiento de calidad

Requerimientos del programa; organización. Control de diseño; control de la documentación y de los cambios que en ella se introduzcan. Instrucciones de trabajo. Control de los suministros del proveedor. Control de manufactura; acción correctiva; control de ítems fuera de especificaciones. Inspección y ensayos; control de los equipos utilizados para inspecciones, medición y ensayos; indicaciones sobre el estado de inspección, medición y ensayos; aseguramiento de calidad durante la puesta en marcha. Auditoría de calidad. Registros.

III.2.5. ASPECTOS DE SEGURIDAD EN LA OPERACION DE REACTORES NUCLEARES

III.2.5.1. Personal de operación

Organigrama de operación. Criterios de selec-

ción de personal. Entrenamiento del personal.

III.2.5.2. Manuales y códigos

Manual de operación. Límites autorizados.
Manual de mantenimiento. Código de práctica de
protección radiológica. Planes para emergen-
cias.

III.2.5.3. Inspección en servicio de centrales nucleares

Conceptos básicos; criterios de selección de
sistemas y componentes sometidos a inspección
en servicio; programas de inspección; códigos y
normas; distintos métodos y equipos para inspec-
ciones.

III.2.5.4. Planes de emergencias

Aspectos radiológicos iniciales: niveles de
intervención, tipos de intervención; monito-
raje, relación entre los diversos parámetros
a monitorarse; dimensionamiento radiológico
del plan de emergencias. Aspectos técnico-ad-
ministrativos: asignación de responsabilida-
des; declaración de la emergencia; planifica-
ción y responsabilidades para las interven-
ciones; comunicaciones; transpaso de responsa-
bilidades al constituirse el Centro de Manejo
de la Emergencia. Aspectos radiológicos
tardíos.

III.3. RIESGO NUCLEAR EN PERSPECTIVA

III.3.1. FUENTES DE IRRADIACIÓN HUMANA

III.3.1.1. Fuentes naturales de radiación

Radiación cósmica. Radionucleídos naturales, irradiación externa e interna. Variaciones geográficas. Dosis y dosis colectiva debidas a la fuentes naturales de radiación. Exposición a fuentes naturales intensificada por factores tecnológicos.

III.3.1.2. Ciclo de combustible nuclear

Extracción y tratamiento de las materias primas nucleares; fabricación de elementos combustibles; operación de reactores; procesamiento; almacenamiento y eliminación de residuos radiactivos. Dosis y dosis colectivas debidas a la producción de energía nucleoelectrónica con los reactores actuales y con ciclos avanzados.

III.3.1.3. Explosiones nucleares atmosféricas

Inyección atmosférica de materiales radiactivos; modelos troposférico y estratosférico; fall-out; transmisión de radionucleídos por cadenas alimenticias. Dosis y dosis colectiva debida a la irradiación externa y a la contaminación interna.

III.3.1.4. Irradiación médica

Uso diagnóstico y terapéutico de la radiación;
uso de radiofármacos. Dosis y dosis colecti-
vas debidas a la práctica médica.

III. 3. 2. COMPARACION DE RIESGOS EN LAS OPCIONES DE
PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

III. 3. 3. COMPARACION CON OTROS RIESGOS DE LA VIDA
DIARIA