

**Curso de capacitación continuada en
materia de radioprotección para
Responsables de Protección
Radiológica.**

**P-28 Particularidades de la Protección
Radiológica en Irradiadores Industriales.**

Objetivo

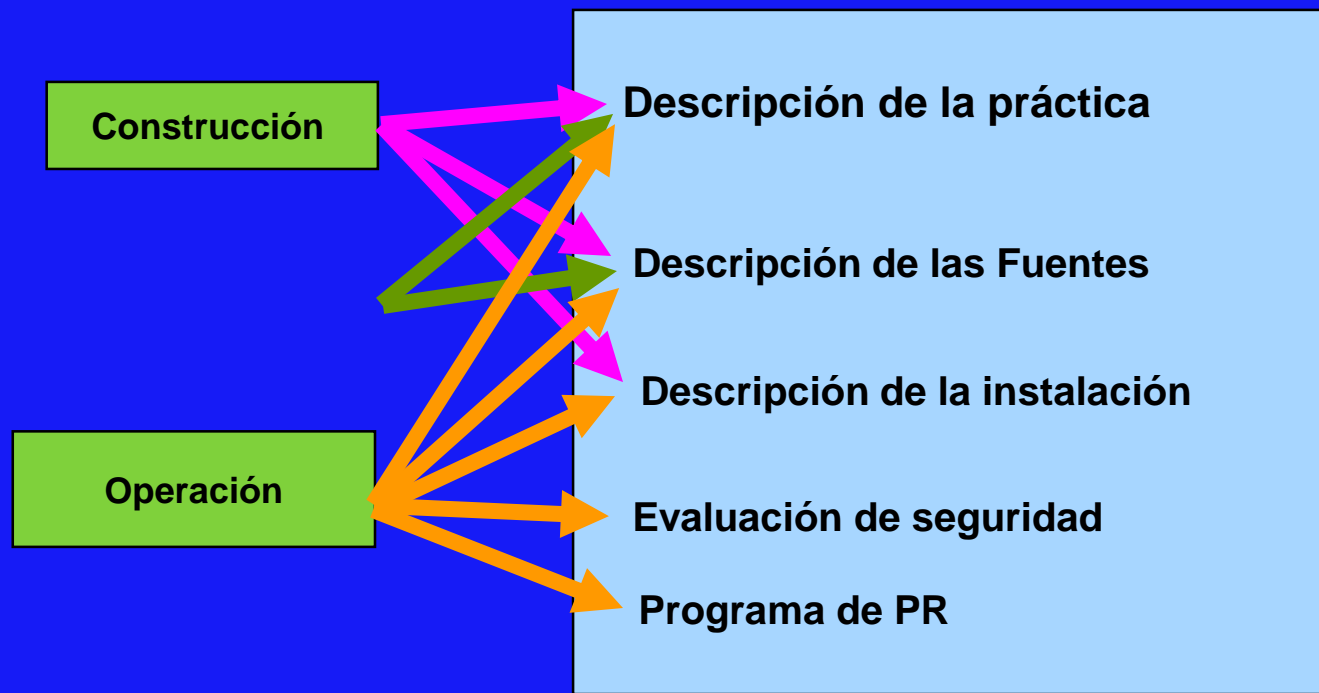
- **Que los participantes conozcan las particularidades de los aspectos de protección radiológica en Irradiadores Industriales.**

CONTENIDO

- ✂Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica.
- ✂Requisitos de diseño de las fuentes y equipos.
- ✂Requisitos de diseño de las instalaciones. Blindajes.
- ✂Particularidades de la exposición ocupacional.
- ✂Particularidades de la exposición del público.

Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica Licencia

Según la norma UY 117 la práctica de Irradiadores Industrial es de 1ra Categoría, por ello según la Guía de Autorizaciones de Instalaciones y actividades y debe tener Licencia:



Requisitos organizacionales de la práctica

El Representante Legal debe presentar la correspondiente solicitud de licencia o a la ARNR según se establece en la Guía de Autorizaciones de Instalaciones vigente en URUGUAY.

Para solicitar la Licencia de Operación se debe presentar:

- Solicitud escrita y firmada por el representante legal con los datos de la instalación.
- Acreditación de la personería jurídica en caso de tratarse de una institución.
- Informe de Seguridad de la Práctica que se desarrollará en correspondencia con el Anexo 1.
- Especificaciones técnicas de las fuentes.
- Certificados de calibración de detectores y equipamiento adicional, cuando corresponda.
- Nota de designación del responsable de protección radiológica.
- Resultados de las pruebas de aceptación y puesta en servicio de los equipos.
- Plan de emergencia.



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Autorizaciones Individuales

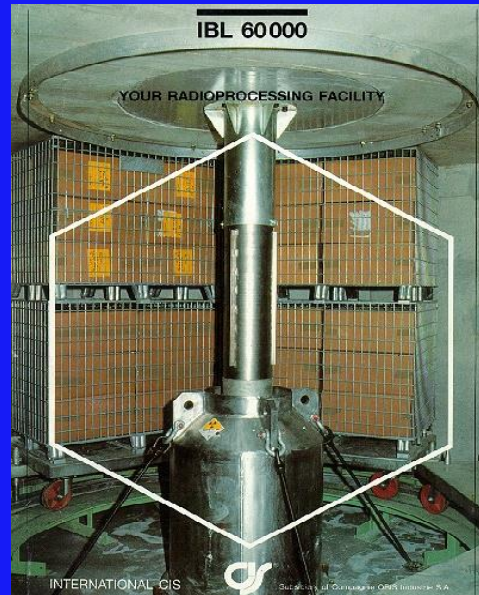
A los operadores de equipos Irradiadores Industriales y al RPR se le requiere disponer de Autorización Individual.



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Inspecciones

A la práctica de Radiografía Industrial se le deberá realizar inspección una vez por año.



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Autorizaciones Individuales

En correspondencia con la Guía de Autorizaciones individuales se requiere presentar:

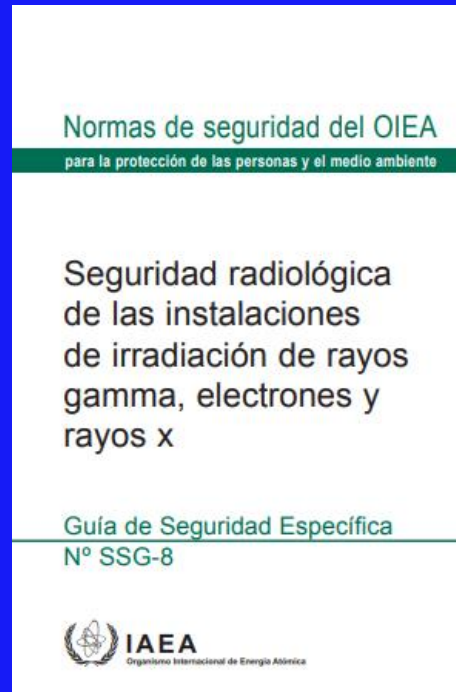
- formulario de solicitud completo y firmado por el individuo interesado;
- título que acredite su formación académica básica (técnico, ingeniero, etc.) y especializada (curso de operación de Irradiadores);
- copia del documento de identidad (cédula de identidad o pasaporte en el caso de trabajadores extranjeros).
- certificados de cursos recibidos en materia de seguridad radiológica, reconocidos por la ARNR;
- curriculum vitae;
- otros documentos que se consideren oportunos para demostrar la cualificación del optante.



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Responsabilidades

- Se definen las responsabilidades de las partes involucradas en la práctica de Irradiadores Industriales.)



Requisitos organizacionales de la práctica

Responsabilidades del Representante Legal

- Establecer el programa de protección radiológica.
- Proporcionar los recursos necesarios para que se cumpla con el programa de protección radiológica.
- Designar a un Responsable de Protección Radiológica que se encargará de supervisar el cumplimiento del programa de protección radiológica.
- Garantizar la adecuada protección de los TOEs y miembros del público.



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Responsabilidades del Oficial de Protección Radiológica

- Elaborar, implementar, y verificar el Programa de Protección Radiológica
- Asegurar que solamente el personal autorizado opere los irradiadores.
- Informar al titular cualquier hecho relacionado con la seguridad.
- Implementar el Programa de Vigilancia Radiológica Individual y llevar los registros correspondientes
- Asesorar al Representante Legal en materia de PR.
- Implementar y verificar el entrenamiento inicial y periódico del personal en protección radiológica
- Conducir la investigación de incidentes y accidentes para implementar acciones correctivas
- Verificar que se efectuó el mantenimiento de todos los equipos.
- Participar en las inspecciones de la ARNR



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Responsabilidades de Operador

- Tener un apropiado nivel de entrenamiento y/o calificación
- Obtener y mantener vigente la Autorización Individual otorgada por la ARNR
- Utilizar la dosimetría individual requerida
- Realizar todas las mediciones requeridas y las que sean apropiadas según los procedimientos de operación
- Verificar que se mantengan operativas todos los sistemas de seguridad consideradas en el diseño de la instalación. Reportar al RPR anomalías
- Detener y notificar prácticas inseguras
- Notificar al RPR cualquier incidente o accidente relativo al irradiador.
- Asegurar que el irradiador sea utilizado según las recomendaciones del fabricante
- Realizar el monitoreo zonal rutinario según se establece en los procedimientos.



Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos a las Fuentes radiactivas

- ISO 2919. Diseño y categorización
- ISO 9978. Ensayos de hermeticidad.



Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos a los equipos



IRRADIADORES DE ELETRONES

Categoria I

Categoria II



IRRADIADORES GAMMA

Categoria I

Categoria II

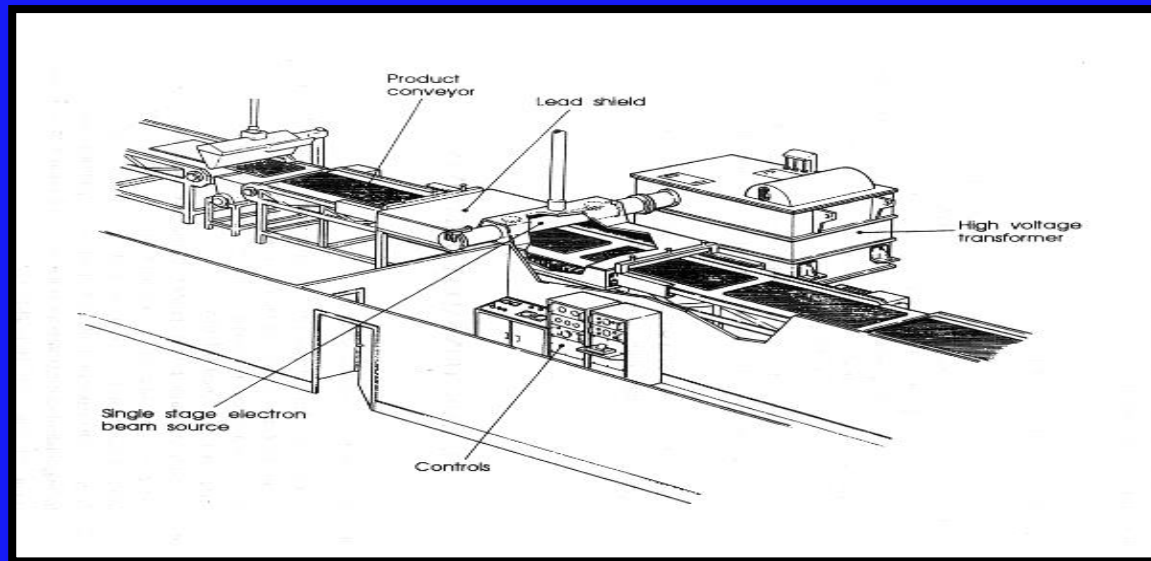
Categoria III

Categoria IV

CATEGORIA DE IRRADIADORES DE ELECTRONES DE ALTA ENERGIA

Categoria I

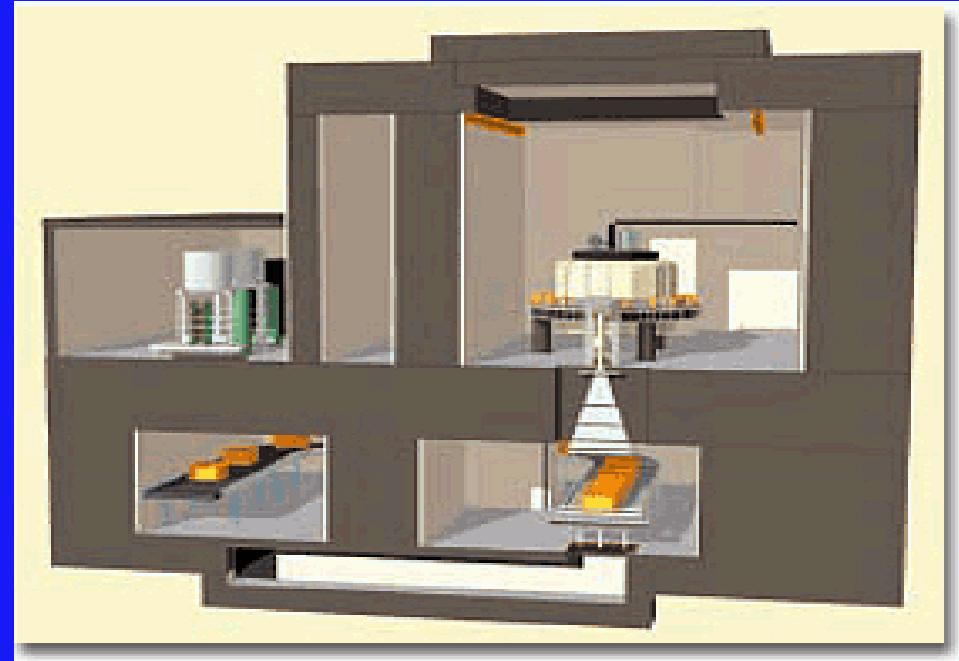
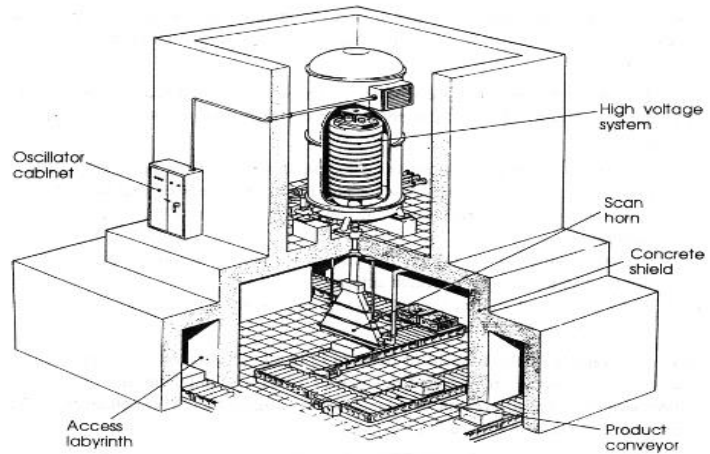
- Son aquellos íntegramente blindados donde el acceso de las personas durante la operación es físicamente imposible.



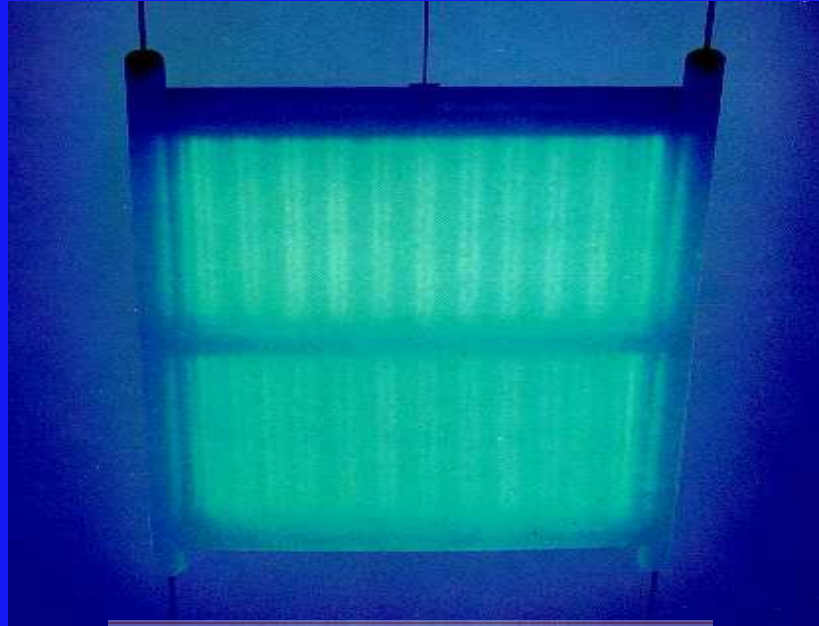
CATEGORIA DE IRRADIADORES DE ELECTRONES DE ALTA ENERGIA

Categoría II

- Unidad instalada en un recinto blindado que se mantiene inaccesible durante la operación.



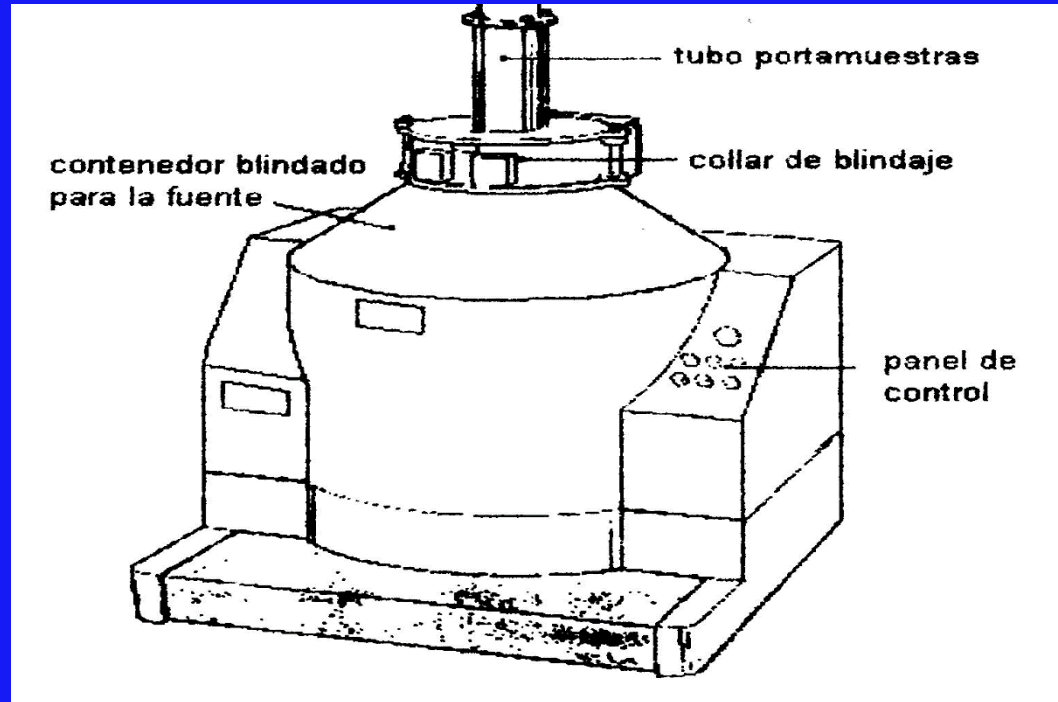
CATEGORIAS DE IRRADIADORES GAMMA



IRRADIADORES GAMMA

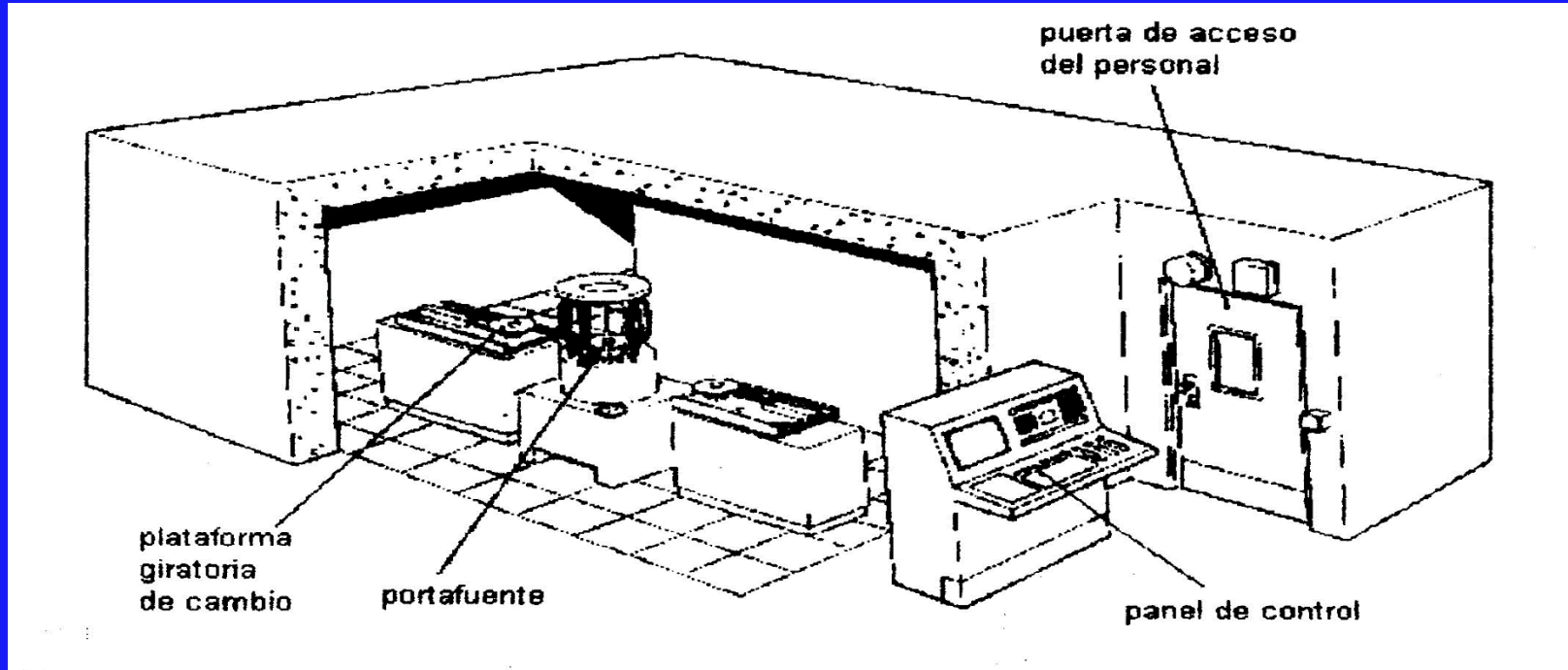
CATEGORIAS DE IRRADIADORES GAMMA

CATEGORÍA I: La fuente sellada se encuentra dentro de un contenedor seco construido de materiales sólidos y permanece blindada, tanto en régimen de conservación como de trabajo.



CATEGORIAS DE IRRADIADORES GAMMA

CATEGORÍA II: Blindaje seco pero sólo en régimen de conservación, durante el trabajo las fuentes irradian productos dentro de un recinto blindado al cual es posible entrar, por tanto requiere sistemas de bloqueo y accesos.



CATEGORIAS DE IRRADIADORES GAMMA

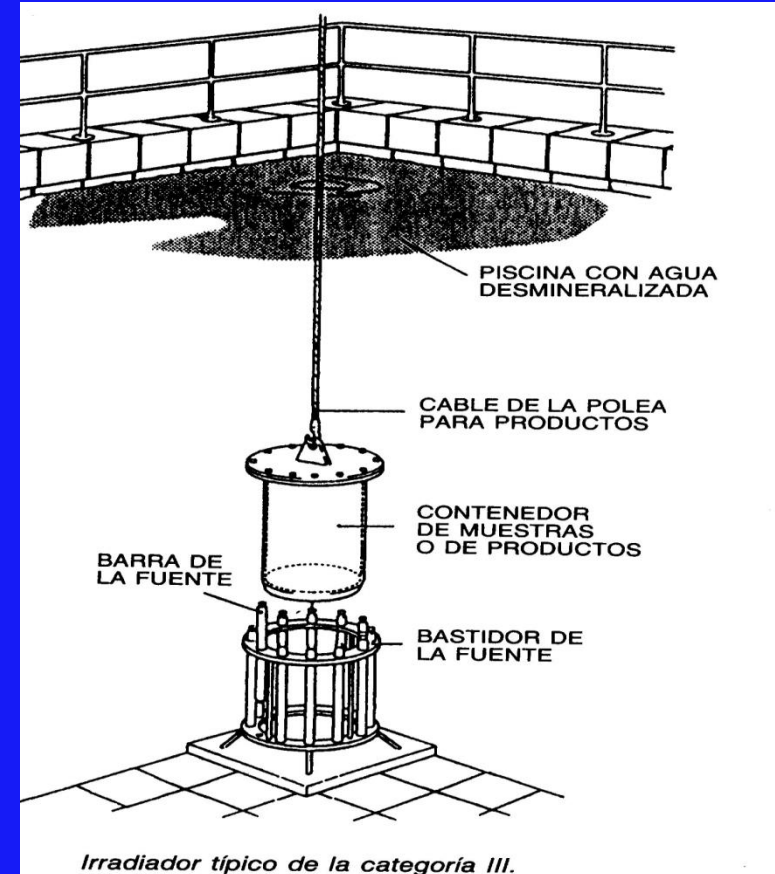
Categoria II



CATEGORIAS DE IRRADIADORES GAMMA

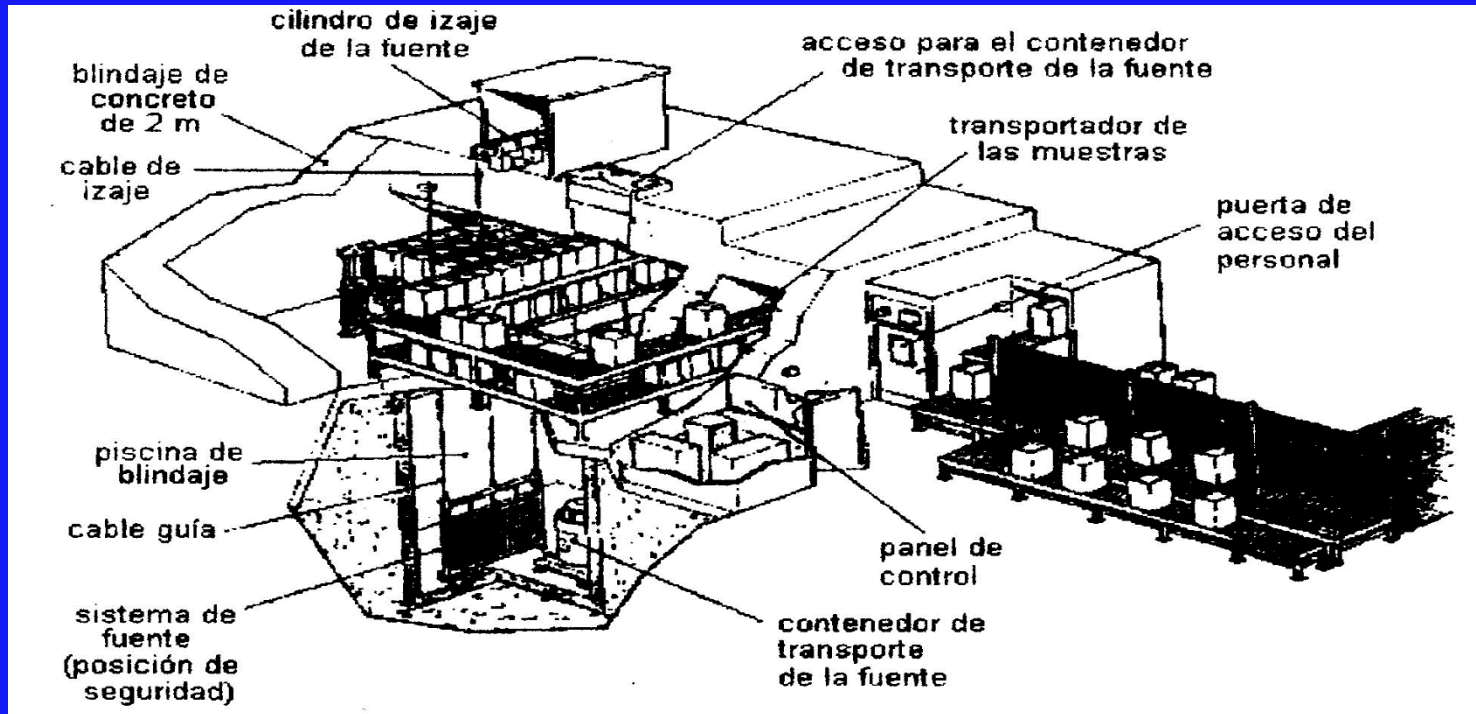
TIPOS DE IRRADIADORES

CATEGORÍA III: Las fuentes se mantienen blindadas dentro de una piscina con agua. La muestra a irradiar se baja y se ubica en la cercanía de las fuentes que conforman el irradiador.

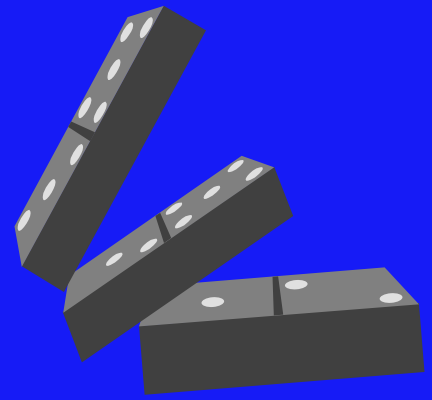


CATEGORIAS DE IRRADIADORES GAMMA

CATEGORÍA IV: Las fuentes se mantienen blindadas dentro de una piscina con agua sólo en régimen de conservación. Durante el trabajo las fuentes irradian productos dentro de un recinto blindado similar al utilizado en los irradiadores de categoría II.



Requisitos de diseño de Instalaciones



Defensa en profundidad

Redundancia

Principales
principio de
diseño

Diversidad

Independencia

Requisitos de diseño de Instalaciones

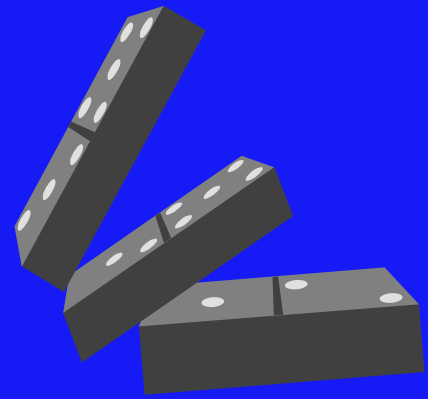
Requisitos de las instalaciones.

FILOSOFIA DE SEGURIDAD

Defensa en profundidad

Despliegue jerarquizado de diferentes niveles de equipo y procedimientos para mantener la eficacia de las *barreras* físicas situadas entre una *fuente de radiación* y las personas, en *estados de funcionamiento* y en *situaciones de accidente*.

- Los objetivos de la *defensa en profundidad* son:
 - Compensar posibles fallos humanos y *averías de componentes*;
 - Mantener la eficacia de las *barreras* evitando daños a la *instalación* y a las propias *barreras*; y
 - Proteger al público y al medio ambiente de daños en el caso de que estas *barreras* no sean eficaces al 100%.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos de las instalaciones.

FILOSOFIA DE SEGURIDAD

Redundancia

Provisión de *estructuras, sistemas y componentes* alternativos (ya sean idénticos o distintos), de forma que cualquier *estructura, sistema o componente* pueda cumplir la función requerida con independencia de que los demás estén en funcionamiento o hayan fallado.



Señal lumínica en el panel de control del equipo y señal lumínica en la puerta del recinto de irradiación

Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos de las instalaciones.

FILOSOFIA DE SEGURIDAD

Diversidad

Presencia de dos o más *sistemas o componentes* diferentes (redundantes) para ejecutar una función determinada, los cuales tienen diferentes atributos a fin de reducir la posibilidad de *fallo de causa común*, incluido el *fallo de modo común*.



Señal lumínica en el panel de control del equipo y señal sonora que emite el Irradiador.

Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos de las instalaciones.

FILOSOFIA DE SEGURIDAD

Independencia

Presencia de dos o más *sistemas o componentes* independientes (redundantes) para ejecutar una función determinada, los cuales actúan siguiendo principios diferentes y están convenientemente separados físicamente.



Señal lumínica en el panel de control del equipo y señal de un monitor estacionario de radiaciones ubicados en locales diferentes.

Requisitos de diseño de Instalaciones

- **USO DE BLINDAJES ESTRUCTURALES ADECUADOS**
- **SISTEMAS DE SEGURIDAD INDEPENDIENTES Y REDUNDANTES**
- **DISPOSITIVOS FIJOS DE SEÑALIZACIÓN, ALARMA Y MEDICIÓN**



Requisitos de diseño de Instalaciones

➤ SISTEMAS DE SEGURIDAD INDEPENDIENTES, REDUNDANTES Y DIVERSOS

Panel de control;

- Dispositivo de parada de emergencia en el panel de control;
- Dispositivos de control de acceso (cadena de seguridad y celdas fotoeléctricas);
- Dispositivo de enclavamiento de la puerta de acceso;
- Detector sísmico;



Requisitos de diseño de Instalaciones

➤ DISPOSITIVOS FIJOS DE SEÑALIZACIÓN Y ALARMA

- ⑩ Señales de alarma en el Panel de control;
- ⑩ Señales de alarma;
- ⑩ Monitores fijos de radiación sistema de intercambio iónico, salida de productos;



Requisitos de diseño de Instalaciones

➤ DISPOSITIVOS FIJOS DE MEDICIÓN

- Sistema de control de nivel de agua de la piscina;
- Sensor de temperatura y detector de humo
- Dispositivo de parada de emergencia en el interior de la sala de radiación;
- Monitores fijos de radiación en el laberinto.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación (búnker) de Irradiadores industriales.
BLINDAJES.

Pasos básicos de la metodología

1. *Establecimiento del valor de Dosis (P) requerido en función del área a proteger. Habitualmente se utiliza la restricción de dosis.*
2. *Estimación de la Dosis (H(0)) en el punto a proteger asumiendo que no existe Blindaje.*
3. *Obtención del Factor de Transmisión necesario para reducir el valor de D hasta el valor de P. El factor de transmisión se calcula como: $B=P/H(0)$.*
4. *Asumiendo una atenuación logarítmica se calcula el número de capas décimo-reductoras como: $n = \log(1/B)$.*
5. *Cálculo del espesor de blindaje asumiendo una atenuación logarítmica.*

$$S= n * TVL,$$

TVL es el espesor de la capa décimo-reductora. Tabulado en la Bibliografía.



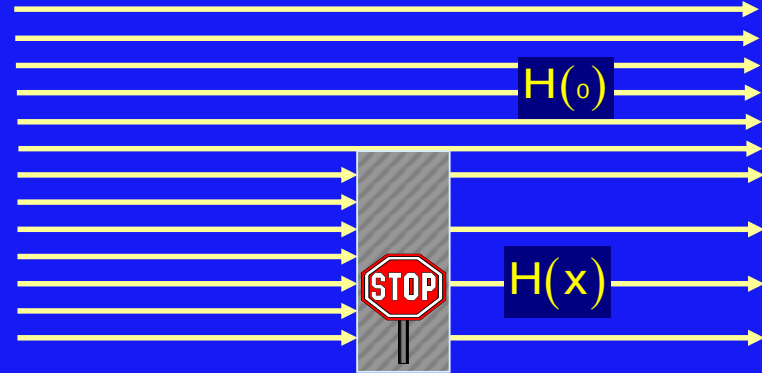
Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación (búnker) de Irradiadores industriales.
BLINDAJES.

El Problema se reduce entonces a calcular el Valor de “ H_0 ” (*Dosis en el punto a proteger asumiendo que no existe Blindaje*).

El cálculo de “ H_0 ” depende de la fuente de radiación y la distancia al punto que se desea blindar.

La fuente de radiación generalmente puede considerarse una Fuente “puntual” tomando en cuenta que la distancia, desde la fuente al punto que se desea blindar, es mayor que 10 veces el diámetro de la fuente.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación (búnker) de Irradiadores industriales.
BLINDAJES.

Materiales

Material	Densidad (g/cm ³)	Número atómico	Costo relativo
<i>Hormigón</i>	2.3	11	1
Hormigón pesado	Aprox. 4	26	5.8
Acero	7.9	26	2.2
Plomo	11.34	82	22
Tierra, compactada	1.5	variable	bajo



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación (búnker) para un Irradiador industrial. BLINDAJES.

Carga de Trabajo

- Una medida del rendimiento de la radiación
- Se mide por lo general en Gy/sem a un metro

$$W= H*di*t$$

Donde:

H – es la Tasa de dosis a 1 metro de la fuente.

di – cantidad de días a la semana que se trabaja.

t – tiempo promedio de irradiación utilizado.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación (búnker) para un Irradiador industrial. BLINDAJES.

Cálculo del Factor de Transmisión

T, es el factor de ocupación del área que se desea proteger.

U= 1, si consideramos la fuente irradia en todas direcciones con igual intensidad.

Donde:

- P – [Sv/sem]
- d - [m]
- W – [Gy/sem] a 1 metro
- U y T – a dimensional
- B - Factor de Transmisión

$$B_{pri} = \frac{P \cdot d^2}{WUT}$$

Donde: n – número de capas decimoreductoras

$$n = \log \left(\frac{1}{B_{pri}} \right)$$

Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación (búnker) para un Irradiador industrial. BLINDAJES.

Cálculo del espesor de las barreras

$$n = \log \left(\frac{1}{B_{pri}} \right)$$

El espesor de la barrera (S) se calcula como:

$$S = n \cdot TVL$$

Los TVL(s) dependen de la Energía de la radiación y el material de blindaje.

TVL(Co-60) (concreto)= 21.8 cm

Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en condiciones de accidente.

En los escenarios de entrada inadvertida o permanencia de una persona dentro del bunker se tiene como consecuencia:

1. La Fuente está a una cierta distancia de la persona durante un determinado período de tiempo.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en condiciones de accidente.

Condición de exposición: Fuente a cierta distancia de la persona involucrada

La tasa de dosis debida a la irradiación puede ser calculada por la ecuación

$$\dot{H}^{ir} = \frac{\Gamma \cdot A}{d^2}$$

- Γ , es la constante gamma del radioisótopo de la Fuente usada.
- A , es la actividad de la Fuente.
- d , es la distancia desde la Fuente hasta el punto de interés.

La dosis recibida por la persona (D) es calculada por la ecuación:

$$D = H * t$$

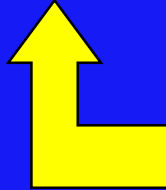
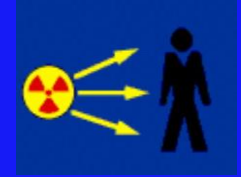
t , es el tiempo de permanencia de la persona a una distancia “d” de la Fuente.



Particularidades de la exposición ocupacional.

Exposición ocupacional RIESGOS

Exposición Externa: Exposición total o localizada del cuerpo humano a las radiaciones emitidas por una fuente radiactiva externa.



Reducción:

Distancia



Tiempo



Blindaje



Fuentes de exposición

Colocación de materiales para irradiación.

Operación del Irradiador desde el panel de control.

Verificación de los sistemas de seguridad.

Trabajos de mantenimientos a los equipos.

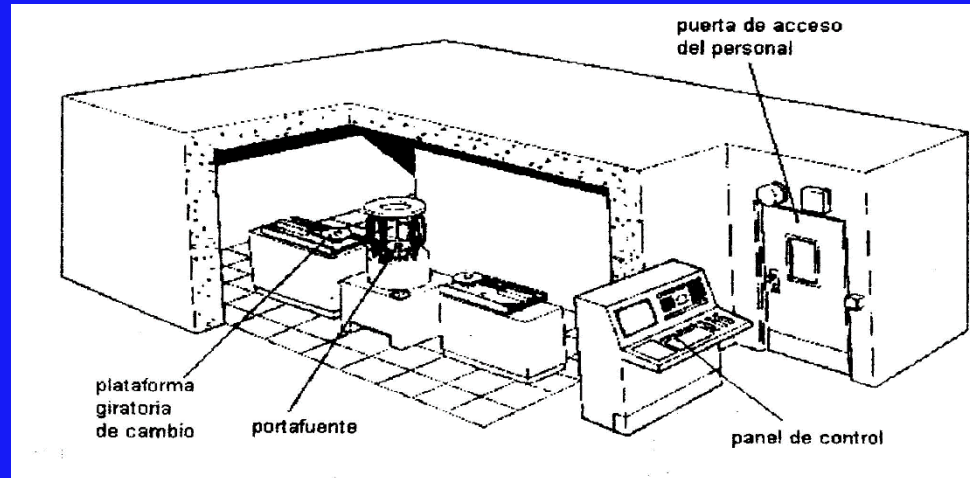
Extracción de los materiales irradiados.

Particularidades de la exposición ocupacional.

Clasificación de zonas

Zona Controlada: Toda zona **delimitada** en la que se exigen o se podrían exigir **medidas de protección y de seguridad específicas** con objeto de **controlar las exposiciones** en las condiciones normales de trabajo y de **prevenir exposiciones potenciales o limitar su alcance**. **Bunker, corredor de entrada al bunker, corredor de entrada de muestras al bunker**

Zona supervisada: Toda zona no definida como zona controlada, pero en la que se mantienen bajo vigilancia las condiciones de exposición ocupacional, aunque normalmente no sean necesarias medidas protectoras ni disposiciones de seguridad concretas. **Panel de control, acceso de muestras para irradiar, áreas circundantes al bunker**



Particularidades de la exposición ocupacional.

Vigilancia radiológica Individual

- La vigilancia radiológica está dirigida al personal de operación empleando para ello:
 - *Dosímetros personales*
 - *Dosímetros de lectura directa, electrónico o de descarga iónica*
 - *Dosímetro con alarma en un nivel predeterminado*
- *Los dosímetros personales deberán estar calibrados en la magnitud $H_p(10)$ y son los que aportan la medición que será utilizada para el control de las restricciones y límites de dosis*
- *Los restantes dosímetros se usan para supervisar procedimientos operacionales, de emergencias y como alarmas.*

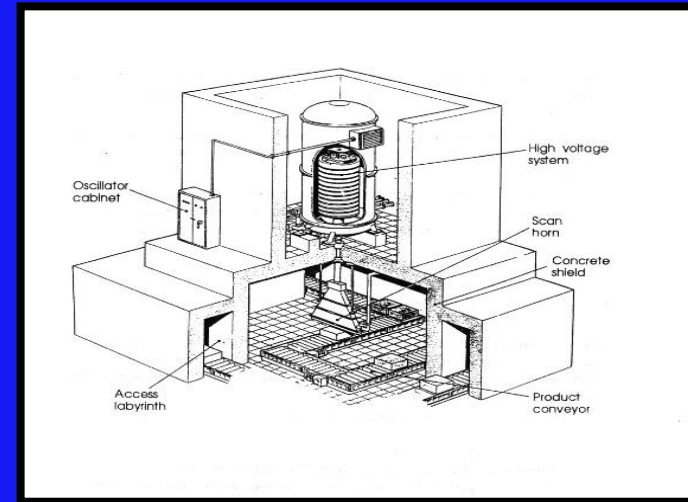


Particularidades de la exposición ocupacional.

Monitoreo radiológico de zona

El monitoreo radiológico está dirigido a verificar los niveles de tasa de dosis en las siguientes condiciones:

- Medición y comprobación de los niveles de tasa de dosis en el límite de la zona controlada.
 - Antes del inicio de los trabajos y con determinada periodicidad (mensual y anual)
- Asegurarse que la fuente se encuentra debidamente blindada.
 - Diariamente ante del inicio de los trabajos.
 - Después de cada operación de irradiación. Antes de entrar al bunker



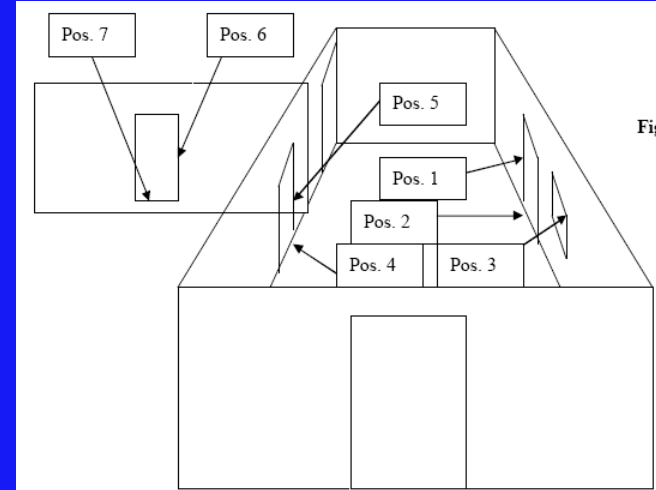
Particularidades de la exposición ocupacional.

Monitoreo radiológico de zona

- Ejemplo de procedimiento de monitoreo en búnker.

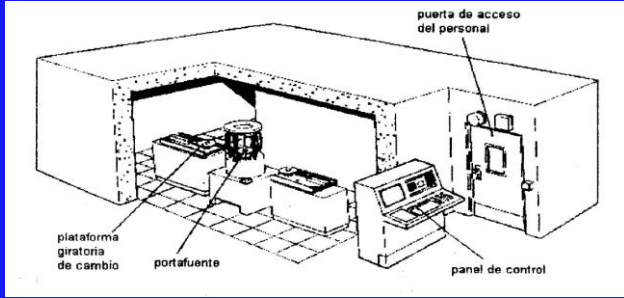


1. Establecer los puntos de medición bien referenciados (Croquis).
2. Establecer la magnitud que será monitoreada.
3. Equipo de monitoreo que será utilizado. **Detector adecuado**
4. Resultados de las mediciones y evaluación de los resultados

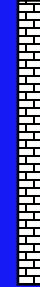


Posición	1	2	3	4	5	6	7
Tasa de dosis ($\mu\text{Sv/h}$)	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0	3,0

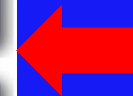
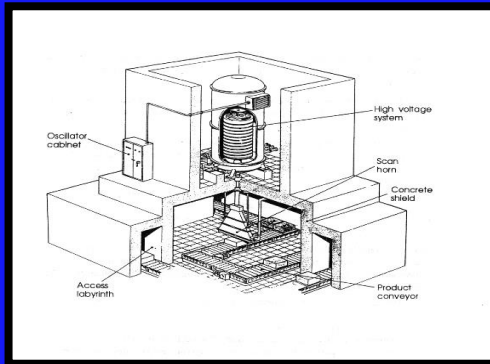
Particularidades de la exposición de público.



Diseño, clasificación de áreas, control de acceso.



Evaluar el blindaje estructural.



Señalización.

Conclusiones:

- 1) **La práctica de Irradiadores industriales se clasifica como categoría I y requiere de Licencia.**
- 2) **Todas las instalaciones utilizadas se diseñan usando los principios de defensa en profundidad, redundancia, diversidad e independencia.**
- 3) **El control de la exposición ocupacional se basa en:**
 - **Clara definición de zonas controladas y supervisadas.**
 - **Empleo de un adecuado programa de vigilancia radiológica de zona.**
 - **Garantizar la existencia de un programa de vigilancia radiológica individual.**
- 4) **Los RPR de instalaciones con Irradiadores industriales deben supervisar los procedimientos de trabajo y mantener en funcionamiento los diferentes sistemas de seguridad previstos en el diseño.**

