

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

**P-27 Particularidades de la Protección
Radiológica en Radiografía Industrial.**

Objetivo

- **Que los participantes conozcan las particularidades de los aspectos de protección radiológica en Radiografía Industrial.**

CONTENIDO

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

Requisitos administrativos y organizacionales

AUTORIZACIONES

Según la Guía de Autorizaciones a Instalaciones y actividades el Representante Legal deberá:

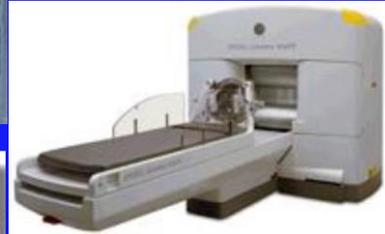
- Notificar a la Autoridad Reguladora su intención de usar un equipo.
- Solicitar la Autorización según corresponda.

Según la Norma UY 117 requieren:

Licencia: Instalaciones y actividades de Categorías 1, 2 y 3

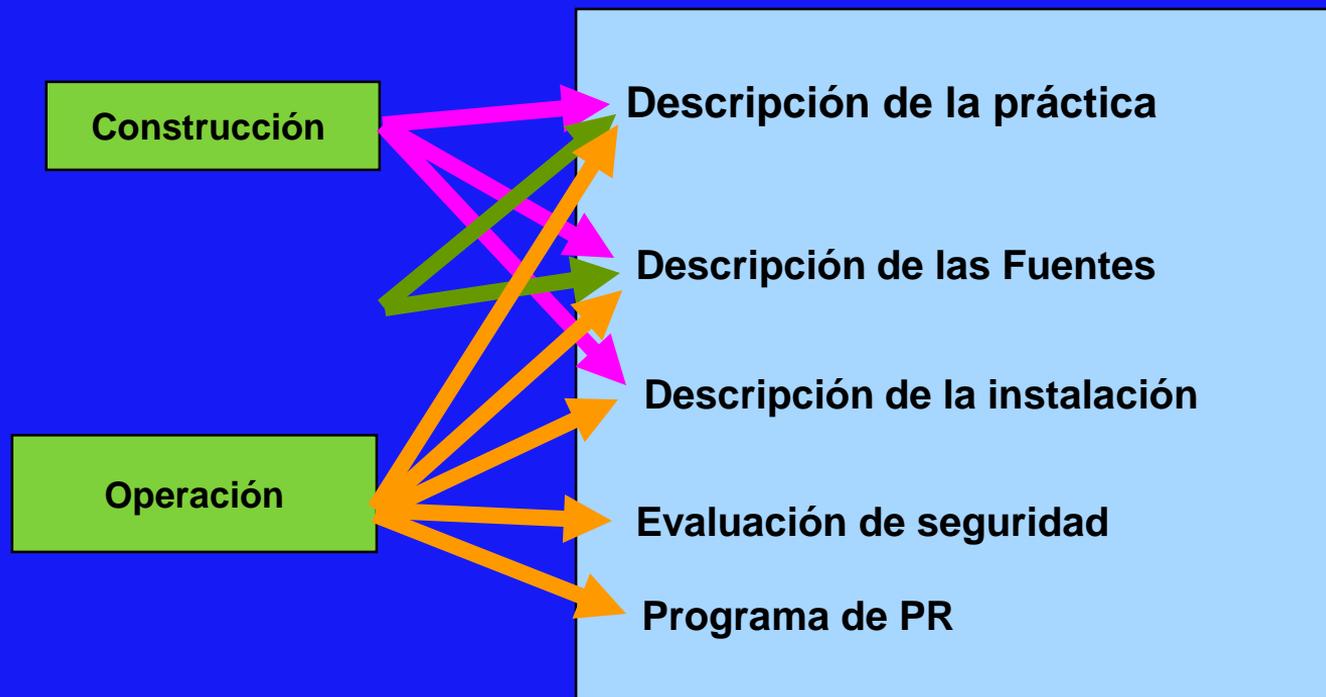
Registro: Instalaciones y actividades de Categoría 4

Notificación: Instalaciones y actividades de Categoría 5.



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica Licencia

Según la norma UY 117 la Radiografía Industrial es una práctica de 2 Categoría, por ello la Guía de Autorizaciones de Instalaciones y actividades y debe tener Licencia:



Requisitos organizacionales de la práctica

El Representante Legal debe presentar la solicitud de licencia 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 (equipos generadores de radiación).
- Certificados de calibración de detectores y equipamiento adicional, cuando corresponda.
- Nota de designación del responsable de protección radiológica.
- Plan de emergencia.



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Autorizaciones Individuales

A los operadores de equipos de Radiografía Industrial, los asistentes y al RPR se le requiere disponer de Autorización Individual.



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Autorizaciones Individuales. (operadores y asistentes)

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

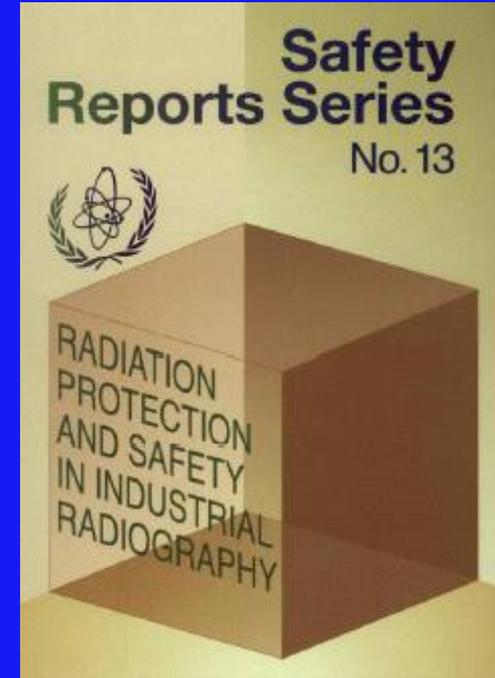
- a) formulario de solicitud completo y firmado por el individuo interesado;
- b) título que acredite su formación académica básica (secundaria completa, técnico, ingeniero, etc.) y especializada (curso de ensayos no destructivos);
- c) copia del documento de identidad (cédula de identidad o pasaporte en el caso de trabajadores extranjeros).
- d) certificados de cursos recibidos en materia de seguridad radiológica, reconocidos por la ARNR;
- e) curriculum vitae;
- f) 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 radiografía industrial (Representante legal; Operadores; Fabricantes y Proveedores; Cliente)



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Responsabilidades del Oficial de Protección Radiológica

- Elaborar, revisar, verificar e implementar el Programa de Protección Radiológica
- Asegurar que solamente el personal autorizado manipule los equipos y fuentes de radiografía industrial
- Efectuar evaluaciones de seguridad
- Hacer cumplir el Programa de Vigilancia Radiológica Individual y llevar los registros correspondientes
- Disponer de autoridad para detener un trabajo inseguro
- Asesorar a la organización en el cumplimiento de los requerimientos de la autorización y reglamentaciones
- Implementar y verificar el entrenamiento inicial y periódico del personal en protección radiológica



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Responsabilidades del Oficial de Protección Radiológica. CONT.

- Informar al titular cualquier hecho relacionado con la seguridad de estudios y/o procedimientos
- Identificar las condiciones bajo las cuales pudieran ocurrir exposiciones potenciales
- Conducir la investigación e implementación de acciones correctivas, resultantes de exposiciones ocupacionales accidentales
- Establecer niveles de investigación para exposiciones inusuales
- Verificar que se efectuó el mantenimiento de todos los equipos de la práctica
- Estar presente en el desarrollo de las inspecciones y auditorias que realice el Órgano Regulador



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Responsabilidades de Operador y Ayudante

- Tener un apropiado nivel de entrenamiento y/o calificación
- Obtener la certificación necesaria de una organización de entrenamiento acreditada o del Órgano Regulador
- Utilizar toda la dosimetría requerida
- Realizar todas las mediciones requeridas y las que sean apropiadas
- Poseer conocimiento cabal de los equipos de radiografía
- Detener y notificar prácticas inseguras, si hay alguna
- Notificar al OPR cualquier exposición mayor a $100 \mu\text{Sv}/\text{dia}$ o $2 \text{mSv}/\text{mes}$



Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

Responsabilidades de Operador y Ayudante

- No realizar la operación si no está suficientemente entrenado o familiarizado con la operación, o si el equipo es inadecuado
- Chequear y mantener operativo los equipo
- Realizar las operaciones radiográficas de manera segura y de acuerdo con todos los procedimientos operacionales y requisitos reglamentarios
- Asegurar que todo equipo esté siendo utilizado tanto a las exigencias del fabricante como del Órgano Regulador
- Realizar el monitoreo zonal para acotar zona controlada
- Cumplir las condiciones de custodia y operación de los equipos y fuentes



Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos a las Fuentes radiactivas

- ISO 2919. Diseño y categorización
- ISO 9978. Ensayos de hermeticidad
- ISO 3999. Test de resistencia y Test de tensión



Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos a los equipos de Gammagrafía



- Puede ser llevado por una persona; pesa menos de 50 Kg
- Tipo más comúnmente usado
- Típicamente utiliza fuentes de iridio-192



- Usualmente en un carro o bien con ruedas para moverlo
- Típicamente utiliza fuentes de Co-60



- Usado en un lugar fijo
- Pesado
- Típicamente utiliza una fuente de 18500-37000 GBq de Co-60

Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos a los equipos de Gammagrafía

CLASE	TASA DE DOSIS					
	en la superficie		50 mm de la superficie		1 metro de la superficie	
	mSv/h	mrem/h	mSv/h	mrem/h	mSv/h	mrem/h
P	2	200	0.5	50	0.02	2
M	2	200	1	100	0.05	5
F	2	200	1	100	0.1	10

Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos a los equipos de Gammagrafía. Señalización



1. Símbolo internacional de radiación ionizante y rotulados con el letrero "RADIOACTIVO", con letras no menores de 1 cm de altura:
2. Placa de identificación con la siguiente información:
 - Símbolo químico y número másico del radionucleido que contiene;
 - Actividad de diseño;
 - Modelo y número de serie de la fuente sellada;
 - Nombre del fabricante de la fuente sellada;
 - Masa del contenedor sin accesorios removibles (clase M y F solamente);
 - Masa del uranio empleado como blindaje;
 - Capacidad máxima del contenedor

Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos a los equipos de Gammagrafía. Señalización



El equipo debe estar marcado de conformidad con la norma ISO 361, como mínimo, marcados con el símbolo de la radiación (el trébol) y la inscripción “RADIOACTIVO”. También deberían marcarse de forma duradera con el número de serie del fabricante

Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos a los equipos de Gammagrafía. Para su transportación



Los dispositivos de exposición también cumplen los requisitos para un bulto de transporte del Tipo B(U) estipulados en el Reglamento de Transporte del OIEA

Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos a los equipos de Gammagrafía. Sistemas de seguridad

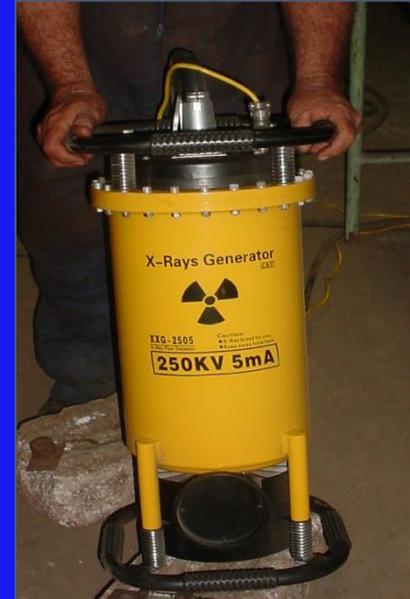
- Compatibilidad de accesorios y componentes
- Disponer de mecanismo de cierre o bloqueo, capaz de mantener la fuente en posición de seguridad
- Disponer de mecanismo indicador de la posición de la fuente (almacenamiento o exposición)
- Estar provistos de asas para su transporte o de algún otro dispositivo que facilite su traslado
- Disponer de mecanismos de accionamiento de la fuente y de indicación de la posición de la fuente
- Los controles de mando manuales no puedan retirar la fuente por la parte trasera del contenedor



Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos de diseño del tubo de RX

- Los equipos de rayos X deben ajustarse a los requisitos de seguridad eléctrica nacionales e internacionales.
- Los equipos de rayos X deben, siempre que sea posible, ajustarse con los colimadores (conos o diafragmas), para limitar el tamaño del haz según la técnica radiográfica.
- El equipo deben llevar incorporados filtros de haces para que la filtración se adapte al trabajo que se realice.
- La radiación de fuga debe restringirse mediante un buen diseño y construcción. Su nivel debería ser especificado por el fabricante.
- Los valores típicos de tasa de dosis máxima para la radiación de fuga de los tubos de rayos X comerciales no deben sobrepasar $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ a 1 m del blanco



Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos de diseño del panel de control.

- Contar con una etiqueta del símbolo de la radiación (trébol),
- Contar con un sistema de enclavamiento por llave que evite el uso no autorizado del equipo. La llave, pueda ser removida cuando el equipo en posición de “apagado”;
- Indicadores que señalen los kilovoltios (kV) y los miliamperes (mA) cuando el haz de rayos X está encendido.
- Estén bien identificadas la posición del sistema de la llave;
- Contar con un dispositivo lumínico que indique cuando el equipo esta listo para irradiar (color amarillo) y otro independiente que indique cuando está irradiando (color rojo)
- Poseer dispositivos que permitan al Operador interrumpir la exposición en caso de emergencia; y
- Poseer un controlador del tiempo de la exposición radiográfica.



Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

Requisitos de conexión a la fuente de energía.

- Cuando la radiografía no pueda llevarse a cabo en un recinto blindado, la longitud del cable para la conexión del Tubo de RX y Panel de Control no debe ser inferior a 20 m, para los generadores de rayos X de hasta 300 kV, y de más longitud para el equipo de más alta energía.



Requisitos de diseño de las fuentes y equipos

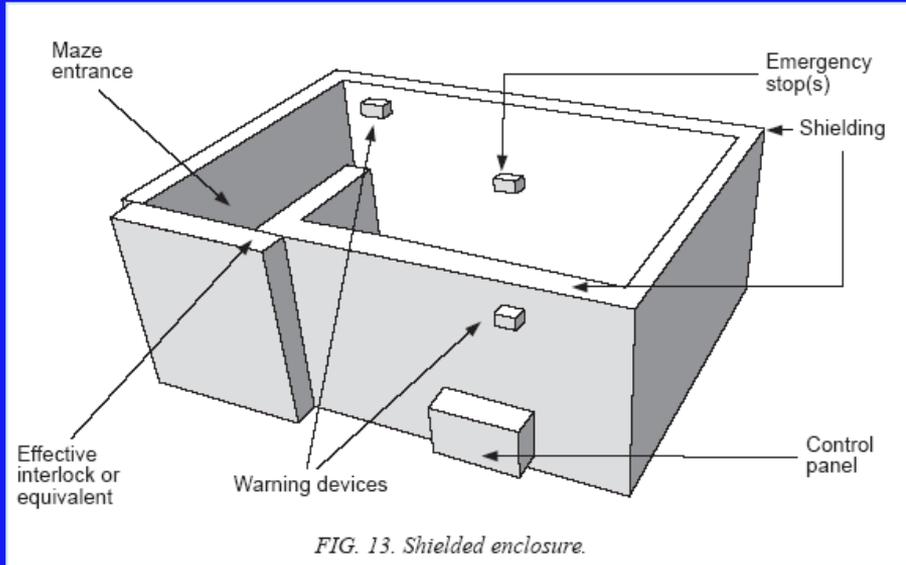
Resumen

El diseño, fabricación y transporte de los equipos para la radiografía industrial y sus accesorios deben cumplir requisitos y estándares de la Organización Internacional de Estándares (ISO), la Comisión Electrónica Internacional (IEC), y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) o normas nacionales equivalentes

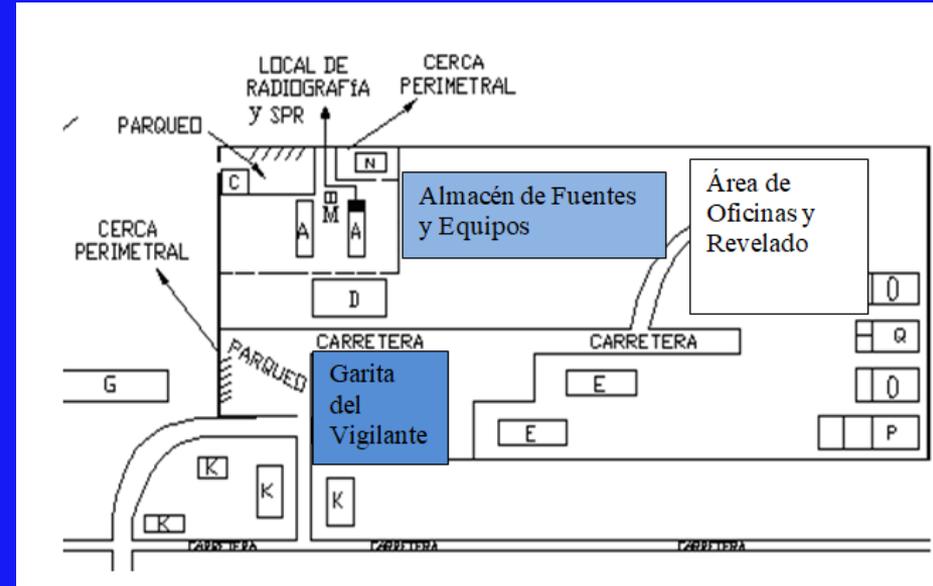
Práctica	Norma
Contenedores de radiografía industrial, auxiliares de gamma equipos	ISO 3999-1
Fuentes radiactivas selladas	ISO 2919 ISO 9978
Pruebas de los contenedores	ISO 9000
Señalización	ISO 361
Equipos de radiografía industrial con rayos X	IEC 204-1
Transporte	IAEA Safety Standards Series No. ST-1

Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos de las instalaciones.



Ejemplo de una instalación fija (búnker) de radiografía industrial

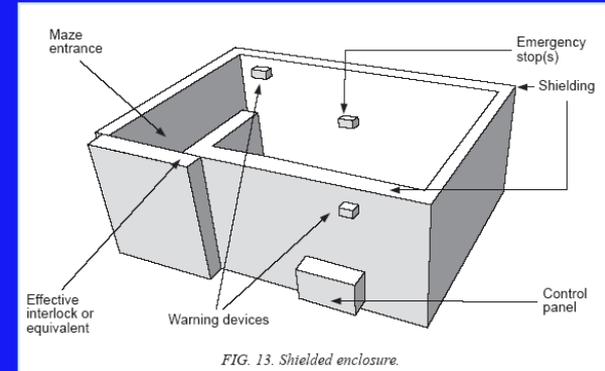


Ejemplo de instalación de una empresa de radiografía industrial que trabaja en condiciones de campo

Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos de las instalaciones. Generales

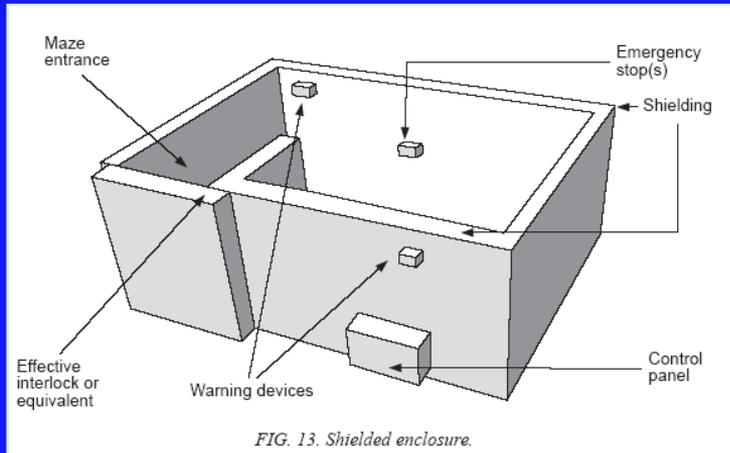
- Ubicación de estas instalaciones deben poseer adecuadas condiciones (por ejemplo. suelo; lugares que no ofrezcan riesgos de explosión o incendio; vecindades que tengan nula ocupación y/o uso, cercanía entre los sitios de almacenamiento y utilización de las fuentes; facilidades necesarias, etc.)
- Deberán disponer de laberinto de acceso
- Ubicación panel de control (fuera del recinto de irradiación, visibilidad del operador a la zona controlada)
- Letreros con advertencias de áreas de radiación.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial. Puertas

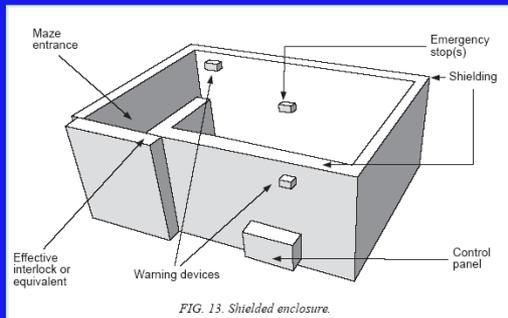
Los recintos blindados deberían estar provistos de sistemas de seguridad adecuados en las puertas de acceso para que las personas no puedan entrar cuando realiza la radiografía. Debería instalarse un sistema de enclavamiento mecánico o eléctrico para que no se irradie a menos que la puerta esté cerrada.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial. Monitores de Radiación.

Debería instalarse un sistema de monitorización de las radiaciones. Lo ideal sería que el medidor de radiaciones se integrara con los enclavamientos de la puerta para impedir la entrada al recinto blindado cuando el medidor de radiaciones detectara radiación superior al nivel prefijado. Ahora bien, tal vez esto no sea posible cuando se utilicen algunos dispositivos de exposición gamma manuales con equipo retráctil. El mismo monitor de radiación instalado debería enviar señales visibles y audibles cuando la fuente esté expuesta

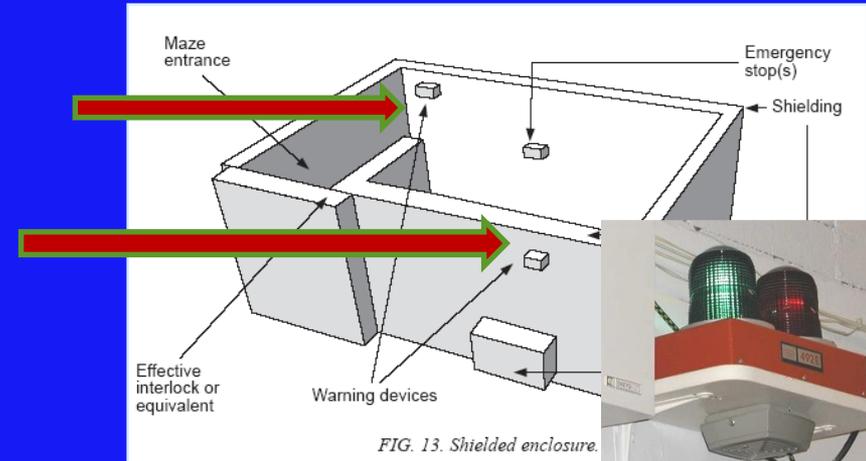


Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial.
Señalización.

Inmediatamente antes de la exposición de una fuente debería emitirse una señal de alerta previa, que puede ser visible o audible. Esta señal debería ser clara para cualquier persona que se encuentre en el interior o en la entrada del recinto blindado. Debería durar lo suficiente para que las personas puedan evacuar el interior del recinto.

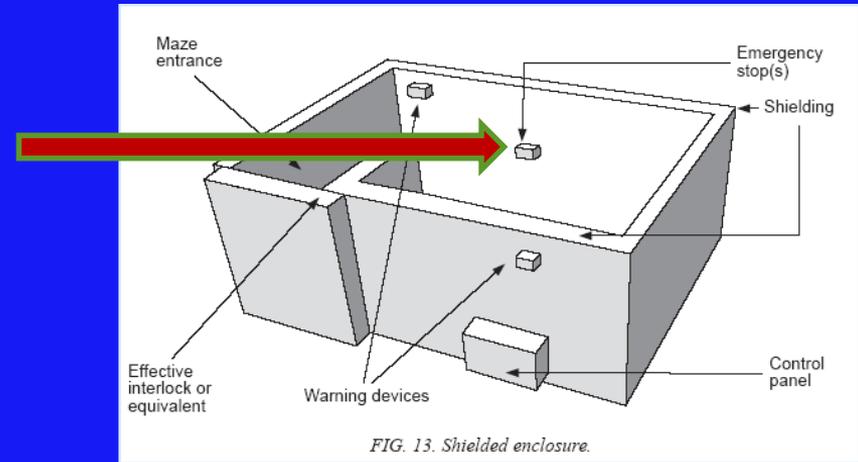
Debería emitirse una segunda señal de alerta visible o audible mientras la fuente se encuentre expuesta. La señal de alerta previa y la señal de alerta de “fuente expuesta” deberían poder distinguirse claramente una de otra, y ambas deberían ser visibles y/o audibles desde dentro del recinto blindado



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial. Interruptores de parada.

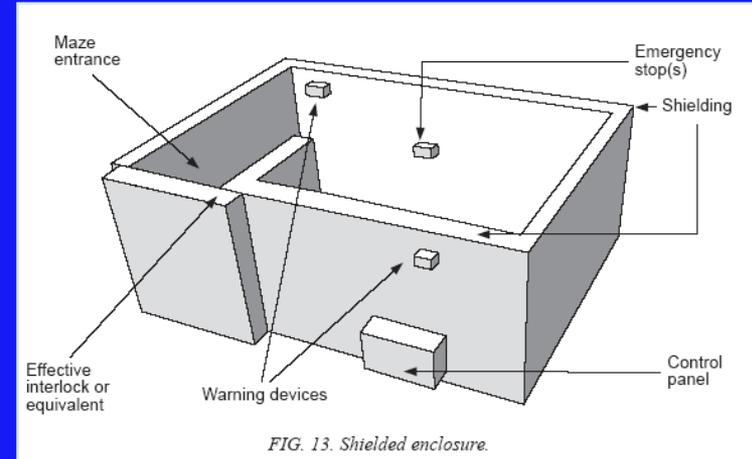
Deberían instalarse botones de parada para que cualquier persona situada dentro del recinto blindado active una alarma de inmediato y finalice o impida la exposición accidental, automáticamente o atrayendo la atención del Operador. Los botones deberían colocarse de modo que pueda llegarse a ellos sin atravesar el haz primario de radiación.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial. BLINDAJES.

En el diseño del recinto blindado debería incluirse un plano de la instalación y sus alrededores, entre ellos las oficinas o edificios contiguos. En el plano deberían indicarse las dimensiones, así como el espesor, la densidad y el tipo de materiales de blindaje en todos los lados de la zona de exposición, por encima y por debajo.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisito para el diseño del almacén de fuentes. **Norma UY 101**

- Deben estar contruidos con una estructura firme.
- Deben contar con puertas y cierres adecuados.
- Deben poseer baja carga de fuego y deben estar suficientemente alejados de zonas de producción o almacenamiento de explosivos.
- Deben estar ubicados en zonas de bajo factor ocupacional y al mismo tiempo asegurar su seguridad física contra el acceso inadvertido o intencional de personas no autorizadas.
- Deben poseer los blindajes para cumplir con los requisitos de protección radiológica establecidos en la normativa vigente.
- Deben estar señalizados externamente, mediante carteles en los que consten además los datos de los Responsables y sus números de teléfono o modo de contactarlos.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisito para el diseño del almacén de fuentes. **Recomendaciones Internacionales**

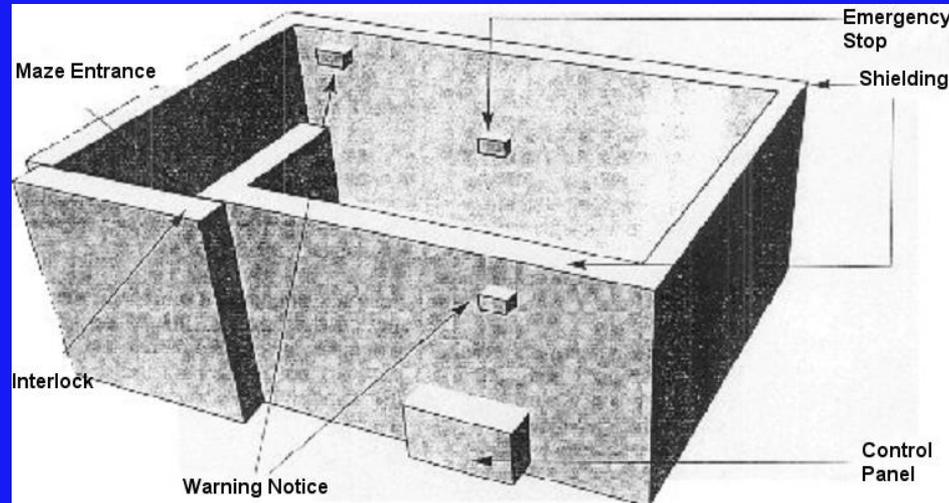
- Deben preverse sistemas de alarma contra intrusos
- Debe colocarse en el perímetro de los almacenes, símbolos de peligro radiológico y rótulos de alerta sobre la presencia del material radiactivo almacenado
- Su ubicación minimice riesgos (bajo riesgo de inundación, incendio, explosivo, baja circulación del personal; y siempre que sea posible dentro de los límites del emplazamiento del titular)



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial. BLINDAJES.

Los cálculos de blindajes son fundamentales en el diseño de las instalaciones ya que dan la posibilidad de cumplir con los límites y restricciones de dosis para trabajadores y público.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial. BLINDAJES.

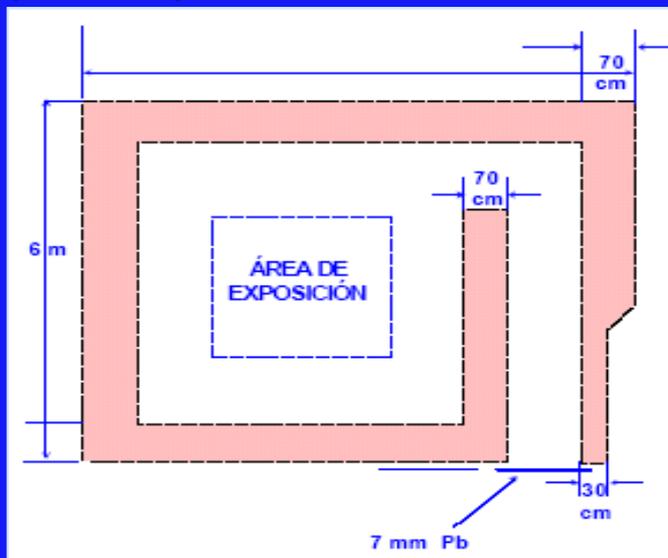


Figura 1. Plano de un recinto blindado adecuado para gammagrafía panorámica con ^{60}Co

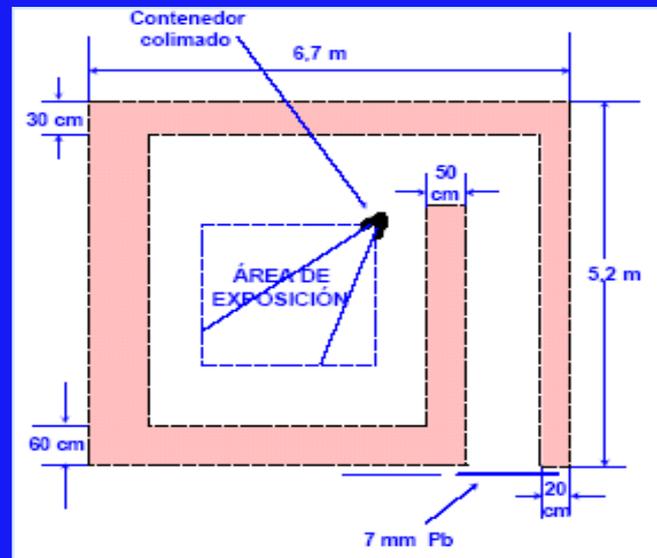


Figura 2. Recinto para ^{192}Ir en un colimador con ángulo de salida de 40° para asegurar la limitación de los haces

Requisitos de diseño de Instalaciones

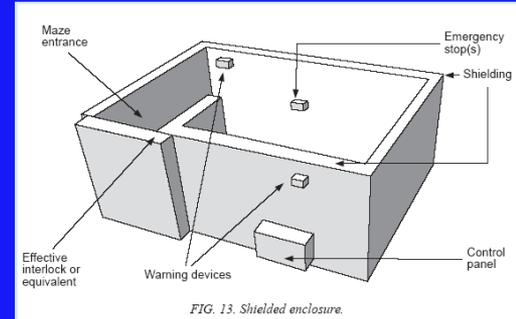
Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial. BLINDAJES.

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 (D) 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: $B=P/D$.*
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.



Metodología general para el cálculo de blindaje

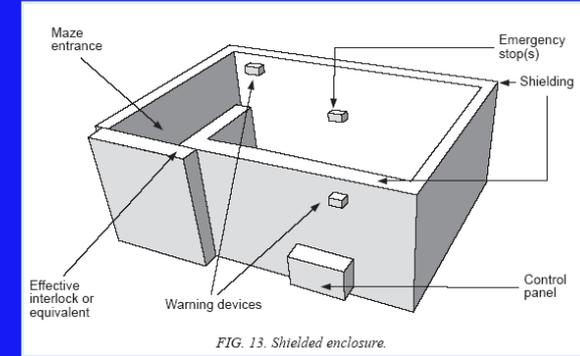
Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial. **BLINDAJES.**

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

El cálculo de D 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 fija (búnker) de radiografía industrial. BLINDAJES.

La fuente de radiación puede ser:

1. Un equipo generador de radiaciones ionizantes.

- Generador de Rx.
- Generador Radiación Gamma de alta energía (Acelerador Lineal).



2. Una fuente radiactiva.

- Fuente emisora de radiación Gamma (fuente de Ir-192, Co-60, etc.).

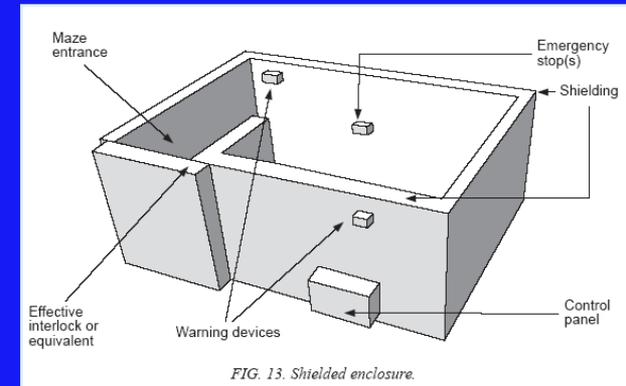


Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial. 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 fija (búnker) de radiografía industrial. BLINDAJES.

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

$$W = N * H * di * t$$

Donde:

N – es el número de radiografías diarias,

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

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

t – tiempo promedio utilizado para realizar una gammagrafía.

$$H = (\Gamma * A) / d^2$$

Donde:

A – Actividad máxima de la fuente.

Γ – Constante gamma que depende de la isótopo utilizado

d – distancia a la cual se evalúa la dosis (d= 1metro)

Carga de Trabajo



Requisitos de diseño de Instalaciones

Requisitos para las Instalación fija (búnker) de radiografía industrial. BLINDAJES.

Cálculo del Factor de Transmisión

En gammagrafía para el POE:

T= 1, ya que el operador se mantiene todo el tiempo en el panel de control.

U= 1, si consideramos la peor condición cuando se trabaja sin usar colimadores ya que la fuente emite en todas direcciones.

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 fija (búnker) de radiografía industrial. BLINDAJES.

Cálculo del espesor de la 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

TVL(Ir-192) (concreto)= 15.2 cm

Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para la Instalación fija (búnker) de radiografía industrial.

Las estimaciones de dosis en condiciones de operación normal parte de identificar las personas expuestas y las condiciones de exposición durante la realización de las diferentes tareas.

Se requieren hacer estimaciones para:

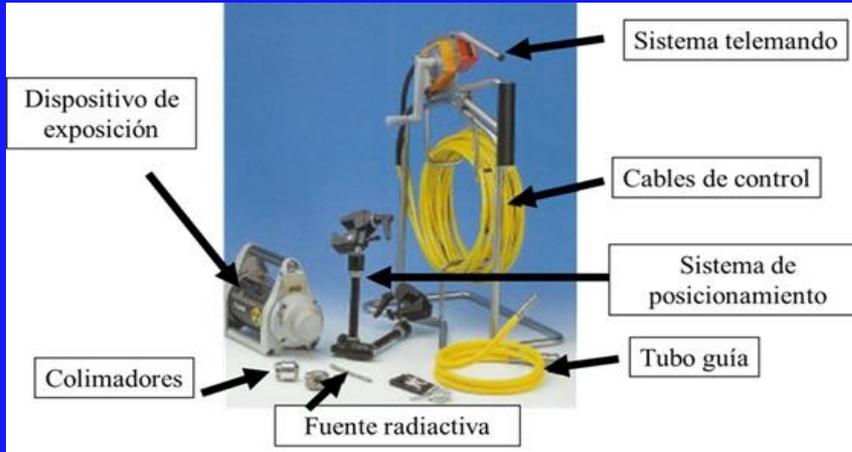
- 1. Personal Ocupacionalmente Expuesto.**
- 2. Público**



Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para la Instalación fija (búnker) de radiografía industrial.

- Ejemplo de estimaciones de dosis en Gammagrafía Industrial. Durante la operación normal.



Requisitos de diseño de Instalaciones

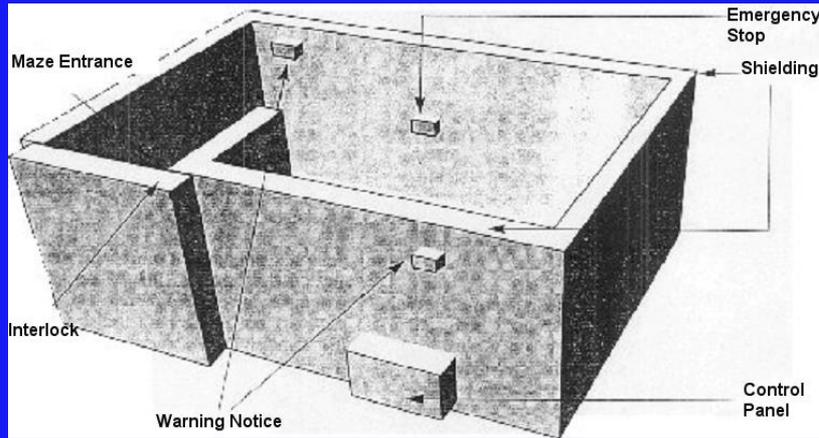
Estimación de dosis en operación normal para la Instalación fija (búnker) de radiografía industrial.

Personal Ocupacionalmente Expuesto en la práctica de Gammagrafía en Bunker

Nro.	Puesto de trabajo	Tareas que desempeña	Dosis
1.	Operador de equipo de gammagrafía	Operación con el equipo de Gammagrafía desde el panel de control.	?
Dosis Total del Operador			?
2.	Asistente.	Preparación de las piezas que serán radiografiadas	?
		Control de acceso a la zona controlada	?
Dosis total del asistente			?

Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para la Instalación fija (búnker) de radiografía industrial.



Dosis al Operador de equipo de Gammagrafía en Bunker.

La estimación de la dosis durante la operación del equipo desde el panel de control depende de la Tasa de dosis que recibe el operador en el panel de control. (mayor o menor dependiendo de la efectividad del blindaje)

Consideraciones para la estimación de la dosis.

- Se asume simplificaciones relativas a la "fuente puntual".
- Se considera que se trabaja sin usar colimadores en el extremo del tubo guía.
- Se asume que la fuente se encuentra todo el tiempo de irradiación en una posición fija (despreciamos la variación de la tasa de dosis en el panel de control debido cambio en la distancia que ocurre por el movimiento de la fuente desde el equipo proyector hasta el extremo del tubo guía).

Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para la Instalación fija (búnker) de radiografía industrial.

Dosis al Operador de equipo de Gammagrafía en Bunker.

1. Dosis que recibe el operador en el Panel de control.

- La tasa de dosis instantánea (IDR) en el panel de control:



$$IDR = \frac{DR_0 \cdot B}{d^2}$$

$DR_0 = H$ es la tasa de dosis a un metro de la fuente.

Si usted no conoce el valor de B, pero si conoce el espesor de blindaje (S) entonces puede calcular B por el formulismo:

$$B = 10^{-[1+(S/TVL)]}$$

Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para la Instalación fija (búnker) de radiografía industrial.

Dosis al Operador de equipo de Gammagrafía en Bunker.

1. Dosis que recibe el operador en el Panel de control.

- La tasa de dosis promediada, que el operador recibe en una semana, se puede estimar a partir de la Tasa de dosis Instantánea (IDR):

N – es el número de radiografías diarias,

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

t – tiempo promedio utilizado para realizar una gammagrafía.



$$D_{sem} = IDR * N * t * di$$

La dosis anual recibida por el operador en el panel de control es:

$$D_t = D_{sem} * Nw \longrightarrow Nw, \text{ es el número de semanas trabajadas al año.}$$

Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para la Instalación fija (búnker) de radiografía industrial.

Dosis al Miembro del Público Gammagrafía en Bunker.

Nro.	Categoría de miembro del público	Condiciones en la que se expone	Dosis
1.	Obrero de la empresa que trabaja en funciones no relacionada con la práctica de Radiografía	Se expone durante su trabajo que coincide con el tiempo en que se realizan los trabajos en el bunker	?
Dosis Total del Operador			?
2.	Miembro del público que eventualmente se encuentra en zonas colindantes al bunker de Gammagrafía	Se expone una fracción del tiempo durante el cual se realizan los trabajos de gammagrafía.	?
Dosis total del asistente			?

Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para la Instalación fija (búnker) de radiografía industrial.

Dosis al Miembro del Público Gammagrafía en Bunker.

- La tasa de dosis instantánea (IDR) en el punto a proteger:



$$IDR = \frac{DR_0 \cdot B}{d^2}$$

$DR_0 = H$ es la tasa de dosis a un metro de la fuente.

D es la distancia al punto a proteger.

Si usted no conoce el valor de B , pero si conoce el espesor de blindaje (S) entonces puede calcular B por el formulismo:

$$B = 10^{-[1+(S/TVL)]}$$

Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para la Instalación fija (búnker) de radiografía industrial.

Dosis al Miembro del Público Gammagrafía en Bunker.

- La tasa de dosis promediada, que el miembro del público recibe en una semana, se puede estimar a partir de la Tasa de dosis Instantánea (IDR):



$$D_{sem} = IDR * N * t * di * T$$

N – es el número de radiografías diarias,

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

t – tiempo promedio utilizado para realizar una gammagrafía.

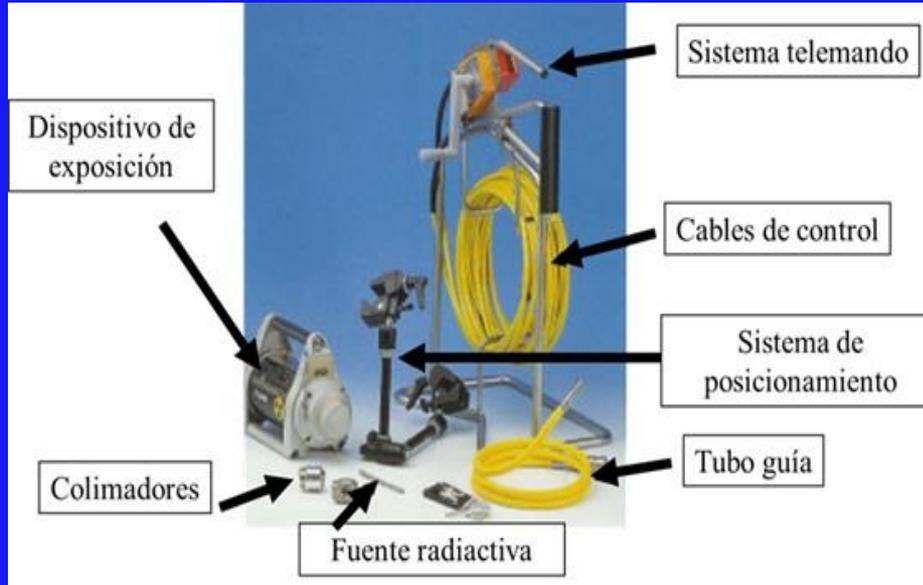
T – factor de ocupación del área.

La dosis anual recibida por el miembro del público es:

$$D_t = D_{sem} * Nw \longrightarrow Nw \text{ es el número de semanas trabajadas al año.}$$

Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para radiografía industrial móvil.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para radiografía industrial móvil.

Cargo	Tareas asignadas	Dosis
Operador	Transportación de equipos de <u>Gammagrafia</u>	?
	<u>Operación del equipo de Gammagrafia.</u>	?
Supervisor.	Delimitación de zona.	?



Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para radiografía industrial móvil.

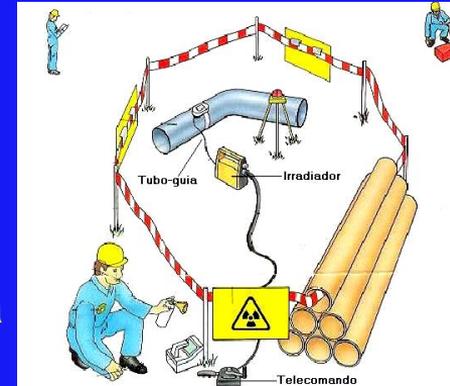
Dosis al Operador de equipo de Gammagrafía Móvil.

La dosis que recibe el operador en el telemando el control del equipo está dada por dos contribuciones básicas que son:

- Dosis recibida durante el tránsito de ida y retorno de la fuente desde el contenedor hasta el punto donde se realiza la radiografía (D_{tr}).
- Dosis recibida durante el tiempo de exposición de la fuente para realizar la radiografía (D_{ir}).

Entonces: $D_{tot} = D_{ir} + D_{tr}$

Nota: las peores condiciones son cuando se realizan los procedimientos sin el uso de colimadores.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para radiografía industrial móvil.

Dosis al Operador de equipo de Gammagrafía Móvil.

1. Dosis por Irradiación.

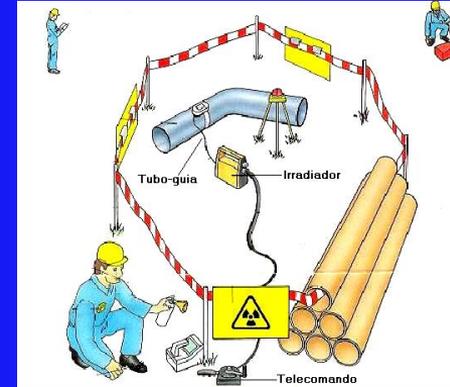
La tasa de dosis por Irradiación se puede determinar por la ecuación:

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

Donde:

- Γ , es la Constante gamma para el radioisótopo utilizado (Γ para el I-192 es 0.135 mSv m²/ GBq h).
- A, es la actividad de la fuente.
- d, es la distancia entre el punto de irradiación y el mando. (Por ejemplo 20 metros)

Nota: Esta ecuación es aplicable cuando se hacen consideraciones de fuente puntual.



Requisitos de diseño de Instalaciones

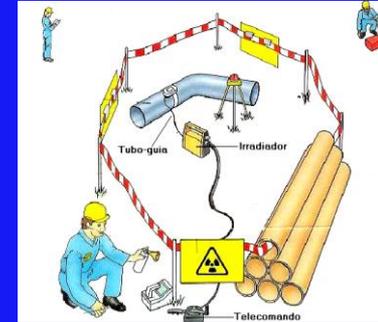
Estimación de dosis en operación normal para radiografía industrial móvil.

Dosis al Operador de equipo de Gammagrafía Móvil.

1. Dosis por Irradiación.

Consideración respecto a la variación de la actividad de la fuente.

- Las fuentes de Ir-192 decaen reduciendo su actividad a la mitad, en aproximadamente 74 días.
- Por ello la dosis que recibe el Trabajador disminuye con el paso de los días.
- Si asumimos que la fuente se cambia aproximadamente cada 5 meses (150 días) podemos, a los efectos del cálculo, considerar:
 - *Se trabaja todo el año con una fuente de actividad constante igual a la mitad de la actividad nominal de la Fuente ($A = A_0/2$), donde A_0 es la actividad inicial de la fuente.*



Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para radiografía industrial móvil.

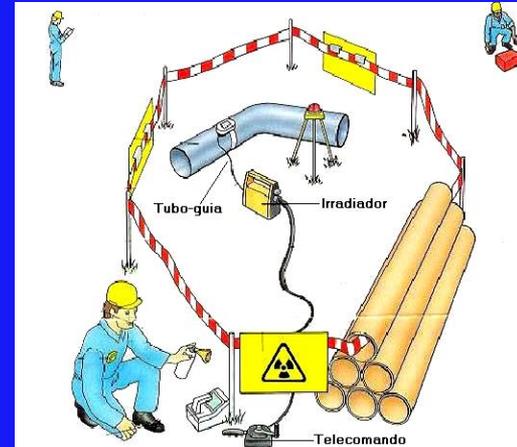
Dosis al Operador de equipo de Gammagrafía Móvil.

1. Dosis por Irradiación.

Consideración generales para el cálculo de la dosis por irradiación (D_{ir}).

- Las entidad realiza N radiografías al año.
- En cada radiografía como promedio la fuente se expone durante un tiempo t.

$$D_{ir} = H_{ir} * N * t$$



Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para radiografía industrial móvil.

Dosis al Operador de equipo de Gammagrafía Móvil.

1. Dosis por el tránsito de la fuente.

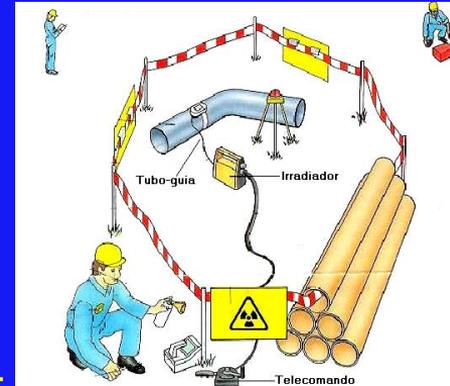
La tasa de dosis durante el tránsito de la fuente se puede determinar por la ecuación:

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

Donde:

- Γ , es la Constante gamma para el radioisótopo utilizado (Γ para el I-192 es 0.135 mSv m²/ GBq h).
- A, es la actividad de la fuente.
- d, es la distancia entre el mando y la posición virtual de la fuente.

Nota: *Se aplica la consideración sobre la actividad de la fuente.*



Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para radiografía industrial móvil.

Dosis al Operador de equipo de Gammagrafía Móvil.

1. Dosis por el tránsito de la fuente.

- Consideración respecto a la distancia desde la fuente hasta el telemando.
- a) La distancia entre la fuente y el telemando varía durante el tránsito de la fuente desde el equipo proyector hasta la posición de irradiación.
- b) Esto hace que la tasa de dosis, en el punto de ubicación del telemando, aumente cuando la fuente se acerca al equipo proyector y disminuya cuando se aleja hasta la posición de irradiación.
- c) Por ello, se puede aceptar que todo el tiempo de tránsito la fuente se encuentra virtualmente detenida a la mitad del tubo guía, es decir:

$$d = d_1 + (d_{tg}/2), \text{ donde,}$$

d_1 es la distancia entre el telemando y el equipo proyector.

d_{tg} es la distancia entre el equipo y el punto de irradiación (tamaño del tubo guía).



Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para radiografía industrial móvil.

Dosis al Operador de equipo de Gammagrafía Móvil.

1. Dosis por el tránsito de la fuente.

Consideración generales para el cálculo del tiempo de tránsito (t_{tr}).

- En cada radiografía como promedio la fuente transita de ida y vuelta a una velocidad de 1 m/s, por lo que el tiempo de tránsito de la fuente:

$$t_{tr} = 2 * (d_{tg} / 1 \text{ (m/s)})$$

Nota: d_{tg} es el tamaño del tubo guía.

$$D_{tr} = H_{tr} * N * t_{tr}$$



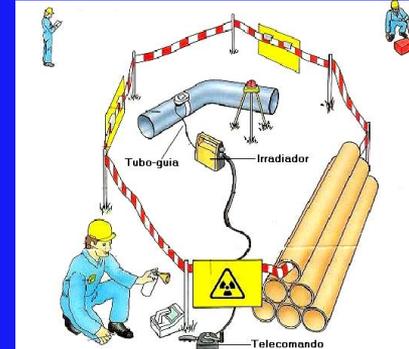
Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en operación normal para radiografía industrial móvil.

Dosis a los Miembros del Público.

Consideración generales para el cálculo de la dosis al público.

- Las entidad realiza N radiografías al año.
- En cada radiografía se considera, que como promedio, la fuente está expuesta un tiempo t (generalmente se toma como 2 minutos).
- Según la normativa internacional se toma que la tasa de dosis en el límite de la zona controlada es de 2.5 $\mu\text{Sv/h}$.
- Conservadoramente se considera que el público está siempre en el límite de la zona controlada todo el tiempo de trabajo con el equipo.



$$D = 2.5 \mu\text{Sv/h} * N * t$$

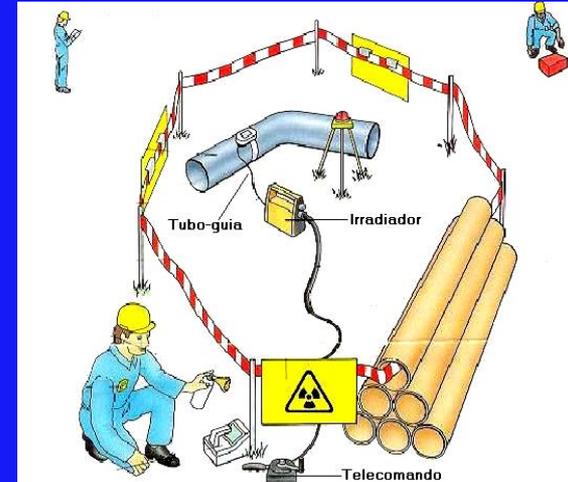
Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en condiciones de accidente para radiografía industrial móvil.

Para la estimación de dosis en condiciones de accidente se debe comenzar por identificar y seleccionar los principales escenarios de accidentes que pudieran potencialmente ocurrir. Para ello debemos considerar la probabilidad y consecuencias asociadas a cada uno de los escenarios identificados. Es recomendable analizar escenarios de accidentes que ya han ocurrido.

Se requiere hacer estimaciones de dosis para las personas que pudieran resultar potencialmente afectados:

1. Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos.
2. Miembros del público.



Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en condiciones de accidente para radiografía industrial móvil.

Los escenarios más importantes en la práctica de Gammagrafía Industrial son:

1. Atascamiento de la Fuente del Equipo de Gammagrafía cuando está Fuente se encuentra expuesta.
2. Pérdida de la Fuente de Gammagrafía durante la transportación o almacenamiento del equipo.
3. Entrada inadvertida de un trabajador o miembro del público al área controlada mientras la Fuente está expuesta.
4. Permanencia inadvertida de un trabajador o miembro del público en el área controlada mientras la Fuente está expuesta.

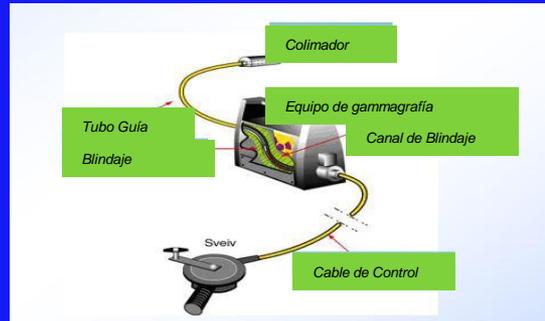


Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en condiciones de accidente para radiografía industrial móvil.

En todos los escenarios descritos anteriormente se pueden presentar, por lo general, dos condiciones diferentes de exposición fundamentales, que son las siguientes:

1. La Fuente se encuentra en contacto con el cuerpo de la persona (trabajador o miembro del público) involucrada durante cierto tiempo. Por ejemplo, al tomarla con la mano o guardarla en un bolsillo de su ropa.
2. 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 para radiografía industrial móvil.

Condición de exposición: Fuente en contacto con la persona involucrada

Estimación de dosis para las condiciones en que la Fuente se encuentra en contacto con el cuerpo de la persona (en las manos o en el bolsillo) durante cierto tiempo.



$$D_c = F_c * t_c * A$$

F_c , es el factor de conversión de la tasa de dosis absorbida, aplica para la dosis absorbida en el tejido blando. (Tabla 14 y 15 EPR-D-VALUES 2006) (Para I-192 $F_c = 8.5 \cdot 10^{-15}$ Gy/Bq.s), (Para Cs-137 $F_c = 5.9 \cdot 10^{-15}$ Gy/Bq.s).

t_c , es el período de tiempo en que la persona está en contacto con la fuente.

A , es la Actividad de la Fuente. Conservadoramente se toma la actividad inicial de la Fuente.

Requisitos de diseño de Instalaciones

Estimación de dosis en condiciones de accidente para radiografía industrial móvil.

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 (Γ para I-192 es 0.135 mSv m²/ GBq h).
- 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.

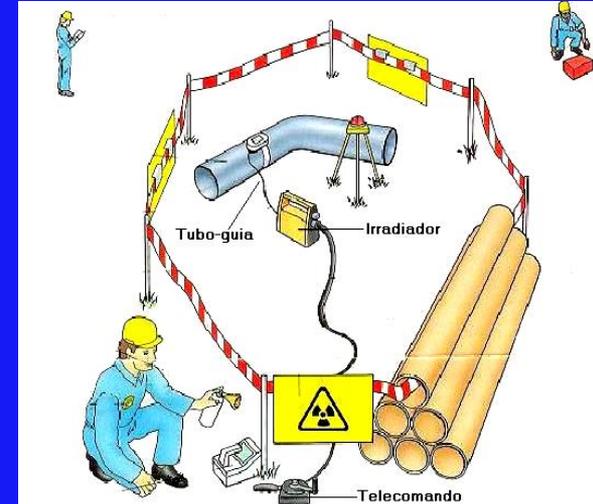


Particularidades de la exposición ocupacional.

Clasificación de zonas

En la práctica de radiografía industrial se definen zonas controlada y supervisadas cuyos rangos típicos son de 25 y $2.5 \mu\text{Sv/hr}$ respectivamente. Son consideradas como **zonas controladas**:

- Áreas de trabajo en condiciones de campo
- Depósitos de almacenamiento de fuentes y equipos de radiografía
- Recintos de irradiación de instalaciones fijas
- La zona controlada debe delimitarse según una curva de tasas de dosis cuyo valor impida que fuera de la zona controlada se excedan los límites anuales de dosis para el público.

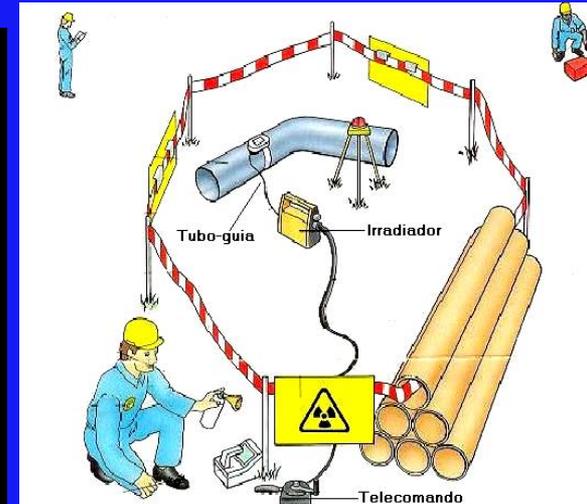


Particularidades de la exposición ocupacional.

Clasificación de zonas

Zona supervisadas ($2,5 \mu\text{Sv/h}$): toda zona no definida como 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. Para condiciones de campo se deberá:

- llevar a cabo un estudio previo del área donde se van a realizar las exposiciones;
- analizar su disposición, protecciones posibles existentes, posibilidades de acceso, nivel de ocupación de zonas circundantes, luces, etc.;
- acordar con el responsable del lugar de trabajo las disposiciones pertinentes que impidan el acceso a personal no autorizado;
- custodia de las llaves y horario de trabajo;
- acotar la zona;
- comprobar con el equipo dosimétrico el límite de acotación de las zonas (niveles de radiación)



Particularidades de la exposición ocupacional.

Delimitación de zonas

- Métodos para la delimitación de zonas
 - *Uso del plantel que realiza las radiografías*
 - *Uso de accesos cerrados disponibles*
 - *Uso de personal de protección física*
 - *Evacuación de la zona controlada*
 - *Consideración para puertas, portales, etc.*
 - *Consideración para superficies verticales*

- Métodos para la identificación de zonas
 - *Señales, barreras, sistemas de advertencias*
 - *Control de personal*



Particularidades de la exposición ocupacional.

Vigilancia radiológica Individual

- La vigilancia radiológica está dirigida al personal que realiza las operaciones de radiografía (Operador y Asistente) 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.*



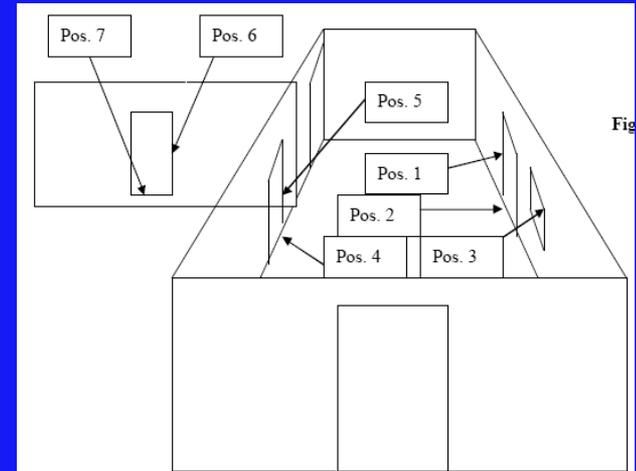
Particularidades de la exposición ocupacional.

Monitoreo radiológico de zona

El monitoreo, en el sitio durante los trabajos de radiografía industrial, tienen como esencia las actividades siguientes:



- Medición y comprobación de los niveles de tasa de dosis en el límite de la zona controlada
- Asegurarse que esta zona esté apropiadamente establecida dentro de los límites legales



Particularidades de la exposición ocupacional.

Monitoreo radiológico de zona. ¿Cuándo se requiere?

- Monitoreo durante la recepción
- Monitoreo durante la configuración
- Monitoreo durante la exposición
- Monitoreo durante el retorno



Particularidades de la exposición ocupacional.

Monitoreo radiológico de zona. Rutinario

Concluida las exposiciones radiográficas el Operado de radiografía industrial deberá:

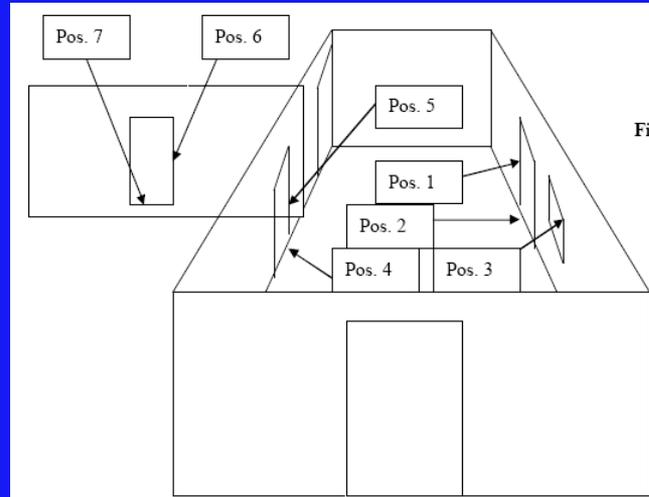
- Realizar una medición de la radiación después de cada exposición para garantizar que la fuente radiactiva retornó a su posición “blindada” o que el haz de rayos X ha sido “apagado”
- También deben realizarse mediciones cuando se guarda el dispositivo en el depósito de almacenamiento, al concluir el trabajo
- Las mediciones serán documentadas y conservadas para demostrar que las zonas controladas fueron configuradas adecuadamente y que el equipo de radiografía fue medido cuando se colocó en almacenamiento y los niveles de radiación eran normales



Particularidades de la exposición ocupacional.

Monitoreo radiológico de zona. En Bunker

- Ejemplo de croquis de monitoreo en búnker con equipos de rayos X direccional (140 kV y 19 mA).

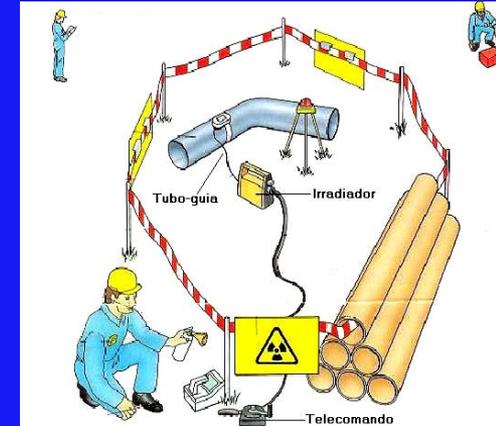


Posición	1	2	3	4	5	6	7
Tasa de dosis (μSv/h)	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0	3,0

Particularidades de la exposición del público.

Aspectos generales.

- Cuando se realizan trabajos de Radiología Industrial se deberá:
 - *facilitar información e instrucciones adecuadas a las personas que en función de su trabajo se encuentren cerca de la zona supervisada*
 - *velar porque se impida la entrada en las zonas de exposición de miembros del público*
- Se deberán proveer señalizaciones a fin de asegurar una protección adecuada.
- Se deberá realizar la gestión de fuentes selladas y contenedores que contienen uranio:
 - *las declaradas en desuso; decaídas o que han perdido su hermeticidad (devolución al país de origen, o contratar a una institución especializada en la gestión de desechos radiactivos autorizada por el Órgano Regulador)*



Particularidades de la exposición del público.

Transportación de equipos y fuentes en el dominio público. Norma UY 101

- Para el transporte de fuentes radiactivas se aplica la Norma UY 107, "Transporte de Material Radiactivo".
- Se deben utilizar vehículos provistos de recinto cerrado con cerradura de seguridad.
- Los proyectores o contenedores deben fijarse en forma segura al recinto del vehículo de transporte, con el propósito de evitar la pérdida, extravío, hurto o robo durante el transporte.
- Las llaves del vehículo y del recinto cerrado deben permanecer en poder del transportista durante todo el tiempo que dure el transporte.
- Se debe asegurar que durante el transporte el vehículo esté en todo momento bajo control directo del transportista o adecuadamente custodiado durante las paradas que se produzcan durante el mismo.



Particularidades de la exposición del público.

Transportación de equipos y fuentes en el dominio público. **Recomendaciones Internacionales**

Cuando se realiza la transportación de los equipos y fuentes de Gammagrafía se deben tomar las medidas siguientes:

- *Deberá planearse las rutas de transportación evitando en lo posible aquellas que puedan ser mas peligrosas.*
- *Durante la transportación deben minimizarse las paradas intermedias.*
- *Nunca abandonar el vehículo en estacionamientos públicos.*
- *Disponer de medios de comunicación durante todo el trayecto.*
- *Disponer de procedimientos y medios para la actuación en caso de accidentes del tránsito que involucren el vehículo de transporte.*



Conclusiones:

- 1) La práctica de Radiografía Industrial es una práctica de categoría 2. Requiere de Licencia y los Operadores requieren Autorización Individual.
- 2) Todos los equipos y fuentes usados en esta práctica deben cumplir la normativa internacional aplicable.
- 3) Las instalaciones donde se usan y almacenan las fuentes y equipos de Radiografía deben cumplir requisitos de diseño que garanticen la protección radiológica de TOE y público.
- 4) En la ejecución de la practica de Radiografía se deben cumplir medidas de protección radiológica para minimizar la exposición ocupacional y del público en general.

