

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

**P-25 Particularidades de la Protección
Radiológica en Medicina Nuclear.**

Objetivo

- **Que los participantes conozcan las particularidades de los aspectos de protección radiológica en la práctica de Medicina Nuclear.**

CONTENIDO

- ✂Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica.
- ✂Requisitos de diseño de equipos.
- ✂Requisitos de diseño de las instalaciones. Blindajes portátiles y estructurales.
- ✂Particularidades de la exposición ocupacional y de público en Medicina Nuclear.
- ✂Particularidades de la exposición médica en Medicina Nuclear.

Requisitos administrativos y organizacionales de la práctica

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: Prácticas de Categorías 1, 2 y 3

Registro: Prácticas de Categoría 4

Notificación: Prácticas de Categoría 5.



Requisitos administrativos y organizacionales

AUTORIZACIONES

Según la Norma UY 117 la práctica de medicina nuclear se clasifica como:

a) Medicina Nuclear Terapéutica: Práctica de Categoría 2

→ Licencia

b) Medicina Nuclear Diagnóstica: Práctica de Categoría 3



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 organizacionales de la práctica

Autorizaciones Individuales

La Guía de Autorizaciones Individuales regula los requisitos de capacitación y autorización del personal que trabaja usando las radiaciones ionizantes.



Según el Artículo 23 de la Guía de Autorizaciones Individuales requieren estas autorizaciones:

- Responsable de Protección Radiológica; **RPR**
- Personal que manipule directamente la fuente de radiación u opere fuentes y equipos, en las instalaciones de Categoría 1, 2, 3, incluido el personal que realice el servicio técnico. **Técnicos en Radioisótopos, Personal de Enfermería y Personal de Servicio Técnico.**
- Personal médico que prescribe procedimientos diagnósticos y terapéuticos y personal que planifica los tratamientos médicos donde se involucran fuentes de radiación. **Médicos Nucleares y Físicos Médicos**



Requisitos organizacionales de la práctica

Responsabilidades del Representante Legal

- Establecer el programa de protección radiológica. (Artículo 19 de la UY 105)
- 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 pacientes, personal y miembros del público.



Requisitos organizacionales de la práctica

El programa de protección radiológica deberá asignar responsabilidades a los Médicos Nucleares incluyendo:

- Garantizar, en coordinación con el médico prescriptor, que los procedimientos de MN, se realicen de forma justificada para cada paciente;
- Garantizar que todos los procedimientos de MN se realicen en correspondencia con lo estipulado en los protocolos aprobados y que se utilicen técnicas y equipos adecuados;
- Garantizar que la dosis de radiofármaco administrada a los pacientes sean la mínima necesaria, teniendo en cuenta las características específicas de estos (por ejemplo, el peso);
- hacer los informes de los resultados de los estudios radiológicos que realiza según los protocolos aprobados;
- asegurar que los resultados se registren las historias clínicas de los pacientes;



Requisitos organizacionales de la práctica

Responsabilidades del Físico Médico:

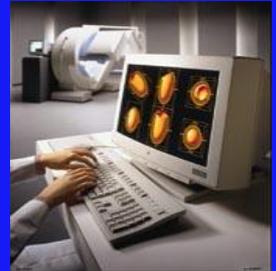
- Implementar un Programa de Control de Calidad al equipamiento;
- Realizar las pruebas de aceptación y de puesta en servicio en correspondencia con los protocolos internacionalmente aceptados;
- Velar por el cumplimiento del programa de mantenimiento de los equipos;
- Mantener actualizados los registros establecidos en los protocolos de control de calidad de los equipos;
- Desarrollar requerimientos y especificaciones para la compra de los equipos de Medicina Nuclear y
- Aceptar los equipos para su uso, luego de cualquier reparación o mantenimiento.



Requisitos organizacionales de la práctica

Responsabilidades del Técnico en Radioisótopos

- Velar por el correcto almacenamiento y conservación de los radiofármacos;
- Preparar los radiofármacos siguiendo los protocolos establecidos para cada nomenclatura de producto;
- Realizar el control de calidad de los radiofármacos antes de ser administrados a los pacientes;
- Preparar las dosis de los radiofármacos que serán administrados a los pacientes.
- Administrar los radiofármacos a los pacientes siguiendo los protocolos de administración establecidos (en algunos casos lo realizan las enfermeras).
- Realizar los controles previos diarios a los equipos y registrar sus resultados;
- Verificar la correcta identificación de los pacientes;
- Realizar los exámenes de diagnóstico y los tratamientos según los protocolos establecidos, y
- Mantener actualizado el registro de las anomalías en los equipos.



Requisitos organizacionales de la práctica

Responsabilidades del Responsable de Protección Radiológica:

- Asesorar al representante legal de la entidad en la toma de decisiones relativas a la seguridad;
- Verificar el cumplimiento del programa de protección radiológica y las condiciones de la licencia otorgada por la ARNR;
- Comunicar de inmediato al representante legal de la entidad cualquier hecho, que pueda implicar un riesgo exposición inminente;
- Asegurar que se cumplan los procedimientos para la gestión de los desechos radiactivos;
- Establecer y garantizar la ejecución del programa de vigilancia radiológica de la práctica;
- Garantizar que se llevan a cabo las calibraciones de los equipos de monitoreo radiológico.
- Garantizar que se cumpla el programa de vigilancia radiológica individual;
- Realizar la investigación de exposiciones accidentales e implementar acciones correctivas;
- Organizar y realizar ejercicios y simulacros de los planes de emergencia;



Requisitos de diseño de fuentes equipos e
instalaciones. Blindajes

Requisitos para el diseño de las Fuentes Radiactivas

En Medicina Nuclear las fuentes utilizadas en los procedimientos diagnósticos y terapéuticos son fuentes **NO SELLADAS.**

Las fuentes preparadas en forma de Radiofármaco deben cumplir requisitos relativos a:

- Ensayo de identidad.
- Pureza química.
- Pureza radionucleídica.
- Pureza radioquímica.
- Estabilidad y almacenamiento

Nota: También deben cumplir requisitos de bioseguridad para los inyectables. Estar libres de pirógenos



Requisitos para el diseño de las Fuentes Radiactivas

En Medicina Nuclear se usan fuentes de calibración y marcadores que deben cumplir la normativa aplicable a las fuentes selladas.

- Diseño de fuentes selladas: ISO 2919.
- Pruebas de hermeticidad para las fuentes selladas: ISO 9978.



Requisitos de diseño de equipos

Los equipos usados en Medicina Nuclear deben estar certificados cumpliendo los estándares relevantes de la **Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)**, o reglamentos nacionales equivalentes.

- **Calibrador de dosis:**
IEC61303.
- **Contadores de Pozo.**
IEC61948-1 TR
- **Cámara Gamma.**
IEC61948-2 TR;
IEC60789.
- **Cámara SPECT.**
IEC61948-2 TR;
IEC61675-2.
- **Cámara PET.** IEC61675-1.

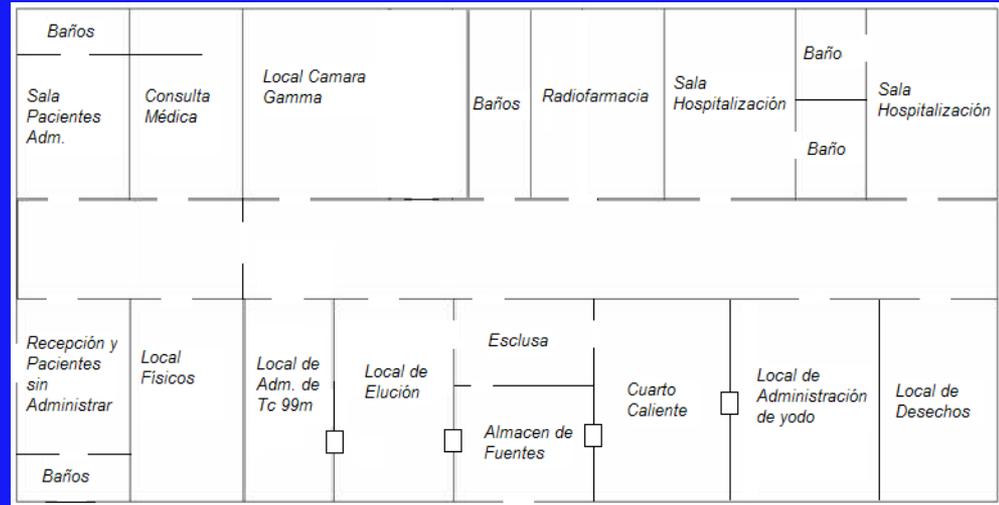


Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Requisitos Arquitectónicos

Se necesitan lugares que permitan ejecutar edificaciones con características especiales de construcción debidas a la altura, peso y dimensiones de los equipos de MN que allí serán instalados.

Es recomendable contar con acceso independiente para la recepción del material radiactivo y para el retiro de los desechos radiactivos.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

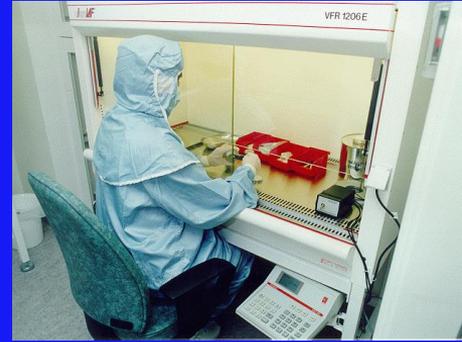
Al seleccionar la Ubicación de un Servicio de Medicina Nuclear, buscar de preferencia, áreas del hospital que sean poco transitada, con facilidad para el control de acceso y que permitan un adecuado traslado hacia ella de las fuentes Radiactivas y la fácil evacuación desde ella de los desechos generados.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

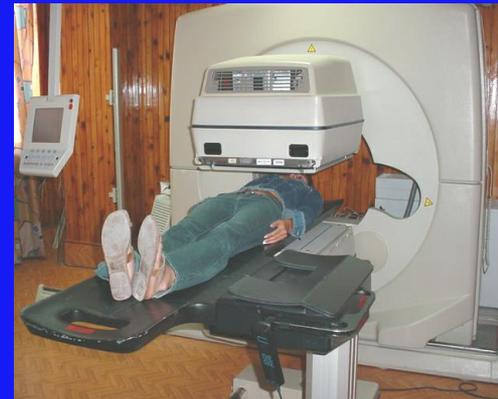
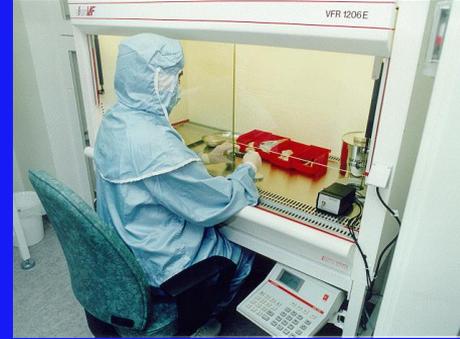
Al diseñar un servicio de Medicina Nuclear se debe considerar:

- Defensa en profundidad.
- Flujo tecnológico del servicio.

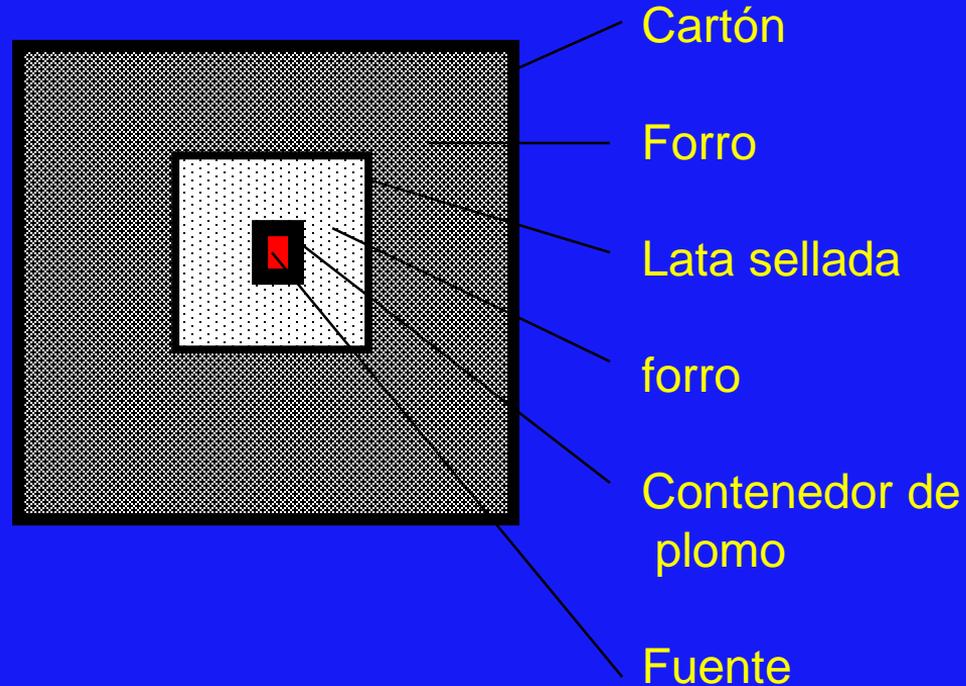


Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

- Defensa en profundidad.

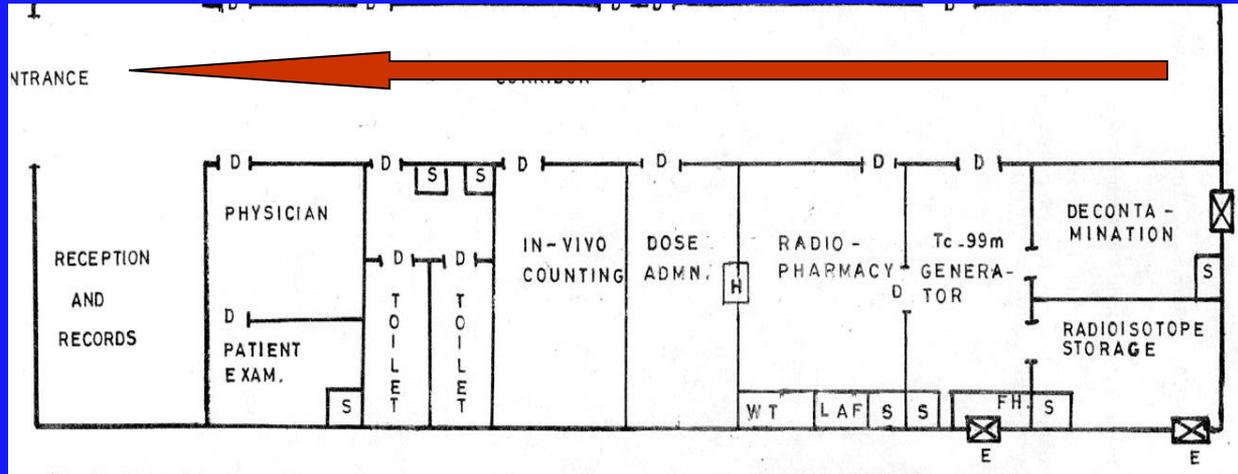


Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico Defensa en profundidad



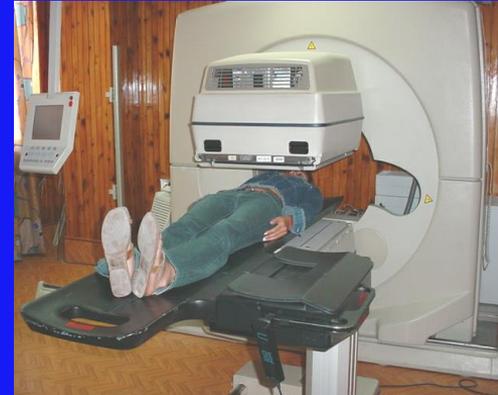
Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Defensa en profundidad

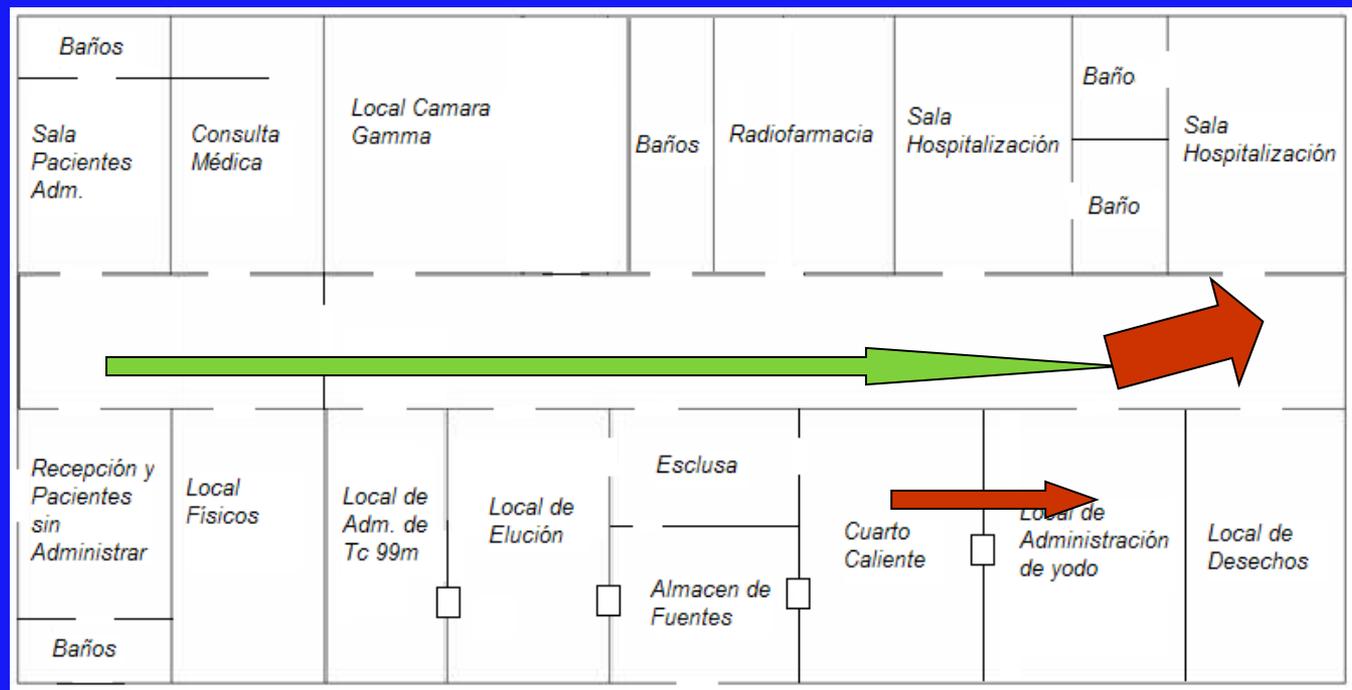


Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

- Flujo tecnológico del servicio.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico



1. Flujo de Material Radiactivo.

2. Flujo de Pacientes

← Mínimo trasiego de
← ambos

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

¿Qué áreas o locales deben existir en un Servicio de Medicina Nuclear?

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

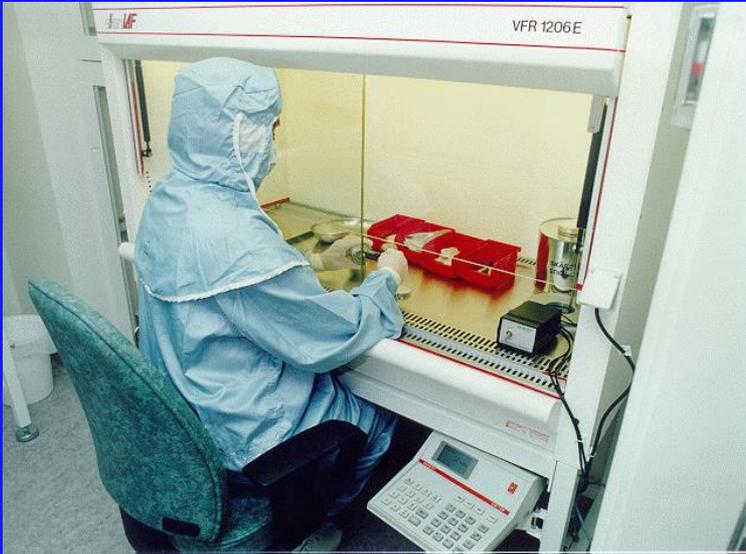


Local de preparación y distribución de radiofármacos.

Esta área debe tener facilidades para recibir el material radiactivo y para almacenar temporalmente los desechos generados. Desde el Interior del Servicio el acceso a esta área será solo a través del local de control. El área deberá disponer de TRANSFER para la distribución de los radiofármacos

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Área de Radiofarmacia.



Esta área debe tener facilidades para preparar fármacos utilizando las instalaciones necesarias según las buenas prácticas de la Farmacopea (flujo laminar) y disponer de los medios necesarios para la realización de las pruebas de control de calidad de los radiofármacos que serán utilizados.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico



Local de control o esclusa sanitaria.

Esta área debe tener facilidades constructivas que permitan minimizar el riesgo de contaminación, tales como ducha de emergencia, lavamanos, detector estacionario de contaminación y mobiliario para el cambio de ropa.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico



Local para la administración de radiofármacos.

Esta área debe comunicarse por TRANSFER con el local de preparación de radiofármacos, y deberá disponer de los blindajes portátiles, delantales y guantes requeridos para el trabajo.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico



Local para equipos de adquisición de Imágenes.

Esta área debe ser independiente para cada equipo, deberá ser suficientemente amplia para garantizar una distancia apropiada entre el paciente y el técnico que opera el equipo (2 m), en caso contrario deberá disponer elementos de blindaje para la protección del trabajador garantizando siempre la visibilidad del paciente durante la adquisición del estudio.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Locales para equipos híbridos (PET- CT y SPECT- CT)

Se deberá disponer un local para el panel de control del equipo, calculado con suficiente blindaje para la protección del trabajador considerando el aporte de los Rx producidos por el CT y garantizando siempre la visibilidad del paciente durante la adquisición del estudio.

- En equipos SPECT/CT el espesor de blindaje lo define la protección contra los Rx del CT.
- En equipos PET/CT el espesor de blindaje lo define la protección contra la radiación Gamma de la aniquilación positrónica



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico



Local para pacientes con dosis administrada.

Esta área debe ser independiente de la utilizada para la recepción de los pacientes. En ella permanecerán solo los pacientes con dosis administradas, salvo que su edad o estado físico demande imperiosamente la presencia de un acompañante.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico



Baños de uso exclusivo para pacientes con dosis administrada.

Estos baños deben ser preparados para facilitar su descontaminación y deben ser señalizados adecuadamente para impedir que sea utilizado por acompañantes, o trabajadores del servicio.

Debe colocarse un aviso que le pida a los pacientes vaciar bien el inodoro y lavar sus manos para asegurar la adecuada dilución de materiales radiactivos excretados y minimizar la contaminación.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico



Local para la recepción y espera de pacientes.

Debe poseer condiciones confortables para la espera y garantizar la correcta identificación del paciente.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico



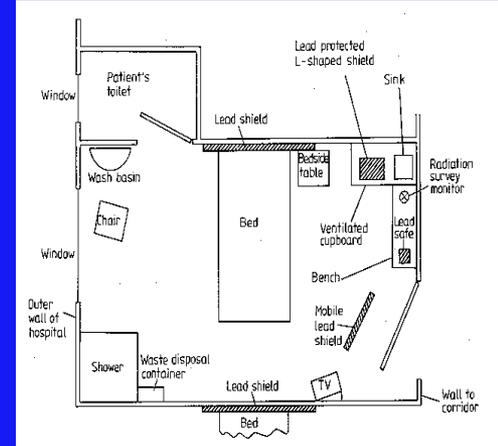
Local para el almacenamiento de desechos radiactivos.

Debe disponer de suficiente capacidad para almacenamiento y adecuadas medidas de seguridad física.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Cuarto de hospitalización de pacientes (terapia con yodo)

- Solo un paciente por habitación.
- Superficies y utensilios fáciles de limpiar.
- Blindaje estructural puede ser necesario.
- Señales de advertencia en la puerta.
- Equipo de descontaminación.
- Sistema de vertido controlado.



Blindaje móvil



Recubrimiento



Monitoreo



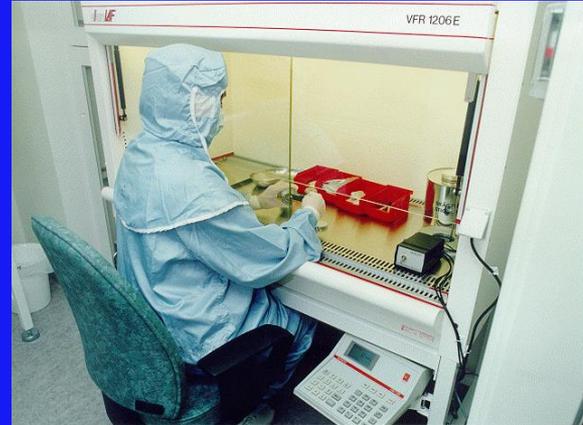
Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Categorización del Riesgo de los Locales.

Tres aspectos básicos definen el Riesgo del Local.

1. Actividad Manipulada en el puesto de trabajo.
2. Radionucleido usado.
3. Tipo de operación realizada.

$$A_p = A_c * f_{Rt} * f_{Op}$$



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Factores de ponderación de acuerdo a la radiotoxicidad radionucleido utilizado.

Clase	Radionucleido	factor de ponderación
B	^{75}Se , ^{89}Sr , ^{125}I , ^{131}I	100
C	^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ^{59}Fe , ^{90}Y ^{51}Cr , ^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{188}Re , ^{111}In , $^{113\text{m}}\text{In}$, ^{123}I , ^{201}Tl	1.00
D	^3H , ^{14}C , $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ^{127}Xe , ^{133}Xe	0.01



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Factores de ponderación, de acuerdo al tipo de operación

<i>Tipo de operación o área</i>	<i>factor de ponderación</i>
Almacenamiento	0.01
Manejo de desechos, cuarto de imagenología (no iny), área de espera, área de la cama del paciente (diagnóstico)	0.10
Local de distribución, administración del radionucleido, cuarto de imagenología (iny.), preparación simple, área de la cama del paciente (terapia)	1.00
Preparación compleja	10.0



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Categoría de riesgo



Riesgo alto

- Cuarto para preparación y distribución de radiofármacos.
- Almacenamiento temporal de desechos.
- Cuarto para administración de radiofármacos.
- Cuarto aislado

Riesgo medio

- Cuarto para almacenamiento de radionucleidos.
- Local de equipo de adquisición de Imágenes.
- Sala de espera de pacientes con dosis administradas.
- Baño de pacientes

Riesgo bajo

- Cuarto para mediciones de muestras de RIA.
- Oficinas.
- Recepción.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Acabado de las superficies. Locales de alto riesgo



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Acabado de las superficies. Locales de alto riesgo

Terminación de pisos que faciliten la descontaminación (de preferencia Linóleo). La terminación de pisos se extenderá sobre las paredes hasta una altura de 20 cm.

Pisos



- Material impermeable
- Lavable
- Resistente químicamente
- Curvado en las paredes
- Todas las juntas selladas
- Pegado al suelo

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Acabado de las superficies. Locales de alto riesgo

Las paredes serán recubiertas hasta una altura razonable (50 cm) con pintura que facilite la descontaminación.

Paredes



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Acabado de las superficies. Locales de alto riesgo

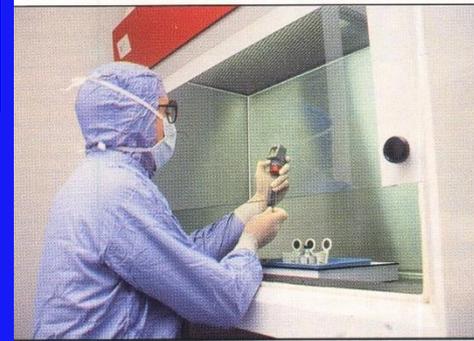
Superficies de Trabajo



Superficies de trabajo revestidas con material poco absorbente de fácil descontaminación

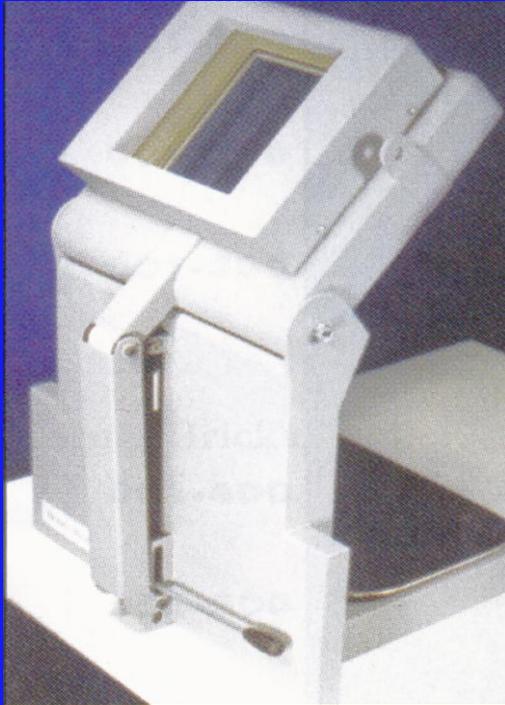
Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindaje de las fuentes. Locales de alto riesgo



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindaje de las fuentes. Locales de alto riesgo



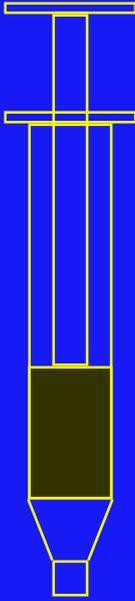
Energía de la Radiación Gamma de aniquilación positrónica 511 keV



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindaje de las fuentes. Locales de alto riesgo

Jeringas Blindadas

No blindada		Blindada (2mm W)
0.4 mSv/h		0.004 mSv/h
0.8 mSv/h		0.01 mSv/h
4.2 mSv/h		0.04 mSv/h
22 mSv/h		0.16 mSv/h
8 mSv/h		6 mSv/h

400 MBq Tc-99m en 1 ml

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindaje de las fuentes. Locales de alto riesgo

Delantal de Plomo?

<i>Examen</i>	<i>Dosis (μSv)</i>	
	<i>sin delantal</i>	<i>con delantal</i>
Huesos (400 MBq, $^{99\text{m}}\text{Tc}$)	2.2	1.0
Miocardio (75 MBq, ^{201}Tl)	0.3	0.2



El delantal plomado no es útil como blindaje cuando se usa yodo-131 (364 keV) o emisores de positrones (511 keV)

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Ventilación de los locales.

Debe garantizar un ambiente agradable de trabajo en el servicio y parámetros de temperatura , humedad, etc. que no afecte el equipamiento del servicio.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Ventilación de los locales.

Los locales donde se utilizan fuentes radiactivas no selladas y las mismas pueden dar lugar a gases y aerosoles requerirán que se evite la concentración, de los mismos, en el ambiente de trabajo. Utilizando para ello las medidas técnicas correspondiente e incluso la existencia de un sistema de ventilación.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Ventilación de los locales.

En los locales de equipos de adquisición de imágenes, sala de espera de pacientes y otros, podrá utilizarse acondicionadores de aire de ventana o de consolas, pero se tendrá la precaución de que los mismos trabajen en un régimen que permitan el intercambio de aire con el medio ambiente.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

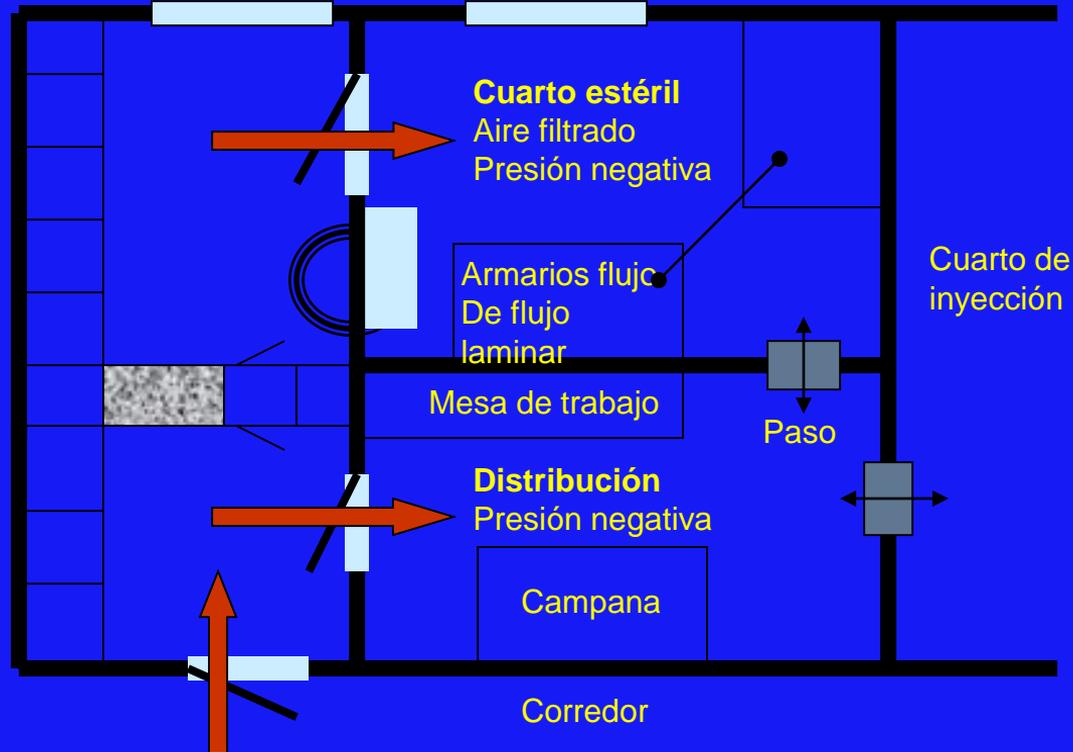
Ventilación de los locales.

El diseño del sistema de ventilación garantizará que:

- El flujo de aire se establezca desde áreas con ambientes radiactivos más limpios hasta las zonas con ambientes más sucios.
- La toma de aire se ubique suficientemente alejado de la descarga para evitar que el aire sea inyectado nuevamente.
- Si se prevé la recirculación de aire, solo se recircule $1/3$ del volumen.
- La extracción del aire del local de preparación de radiofármacos se realice a través de la campana de extracción.
- Se prevea, cuando resulte necesario, el filtrado del aire extraído antes de su expulsión a la atmósfera.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Ventilación de los locales.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Ventilación de los locales.



Cuando, en el Local de preparación de Radiofármaco, se manipulen sustancias volátiles se requerirá una campana Radioquímica construida de material liso, impermeable, lavable y resistente químicamente. La superficie de trabajo de la campana debe tener un lado ligeramente levantado para contener cualquier derrame y tener suficiente rigidez para soportar el peso de los elementos de blindaje.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Ventilación de los locales.



La capacidad del aire manejado en la campana debe ser tal que la velocidad de la fase lineal esté entre 0.5 y 1.0 m/s, con la ventana en la posición de trabajo normal. Esto debe verificarse regularmente.

El aire extraído de la campana debe ser filtrado antes de expulsarse al medio ambiente. La eficiencia de los filtros debe ser monitoreada periódicamente para su eventual sustitución.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindajes estructurales. Tc99m



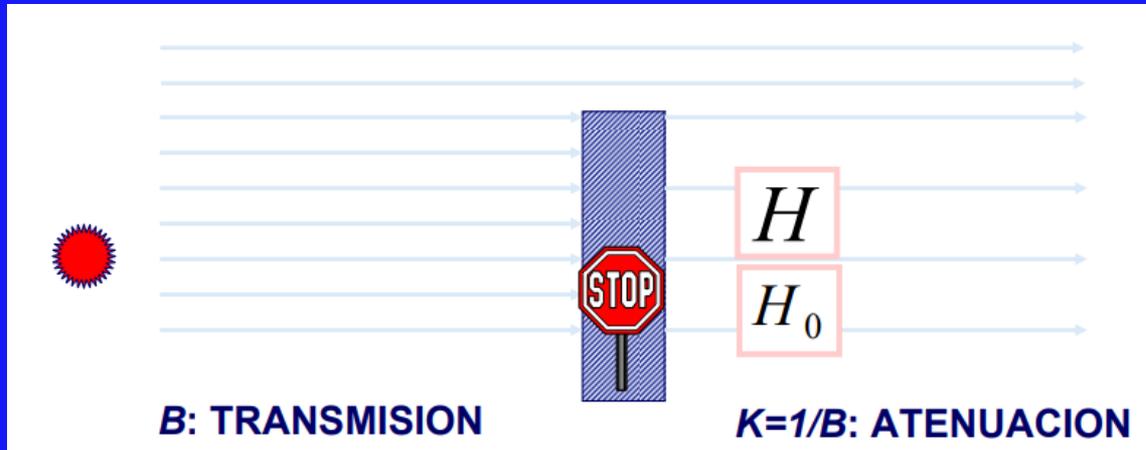
En medicina nuclear convencional con Tc99m. Las estructuras de las paredes y la distancia al paciente mayor de 2 m son suficientes para garantizar la protección radiológica de TOE y público. No se requiere hacer un cálculo de blindaje para los locales.

En el caso de los locales de adquisición de imágenes con equipos híbridos SPECT/CT el cálculo de blindaje para el CT es suficiente para brindar la protección al TOE y al Público.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindajes estructurales. I-131

Para locales de hospitalización de pacientes con dosis terapéuticas de I-131 puede ser necesario el cálculo de blindaje, para garantizar que se ofrece protección como público, a otros pacientes y trabajadores del hospital.



$$B = \frac{H}{H_0}$$

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindajes estructurales. I-131

Para locales de hospitalización de pacientes con dosis terapéuticas de I-131 puede ser requerido el cálculo de blindaje, para ofrecer protección como Público a otros pacientes y trabajadores del hospital.

$$B = \frac{H}{H_0}$$

$$H_0 = D_{(mSv/sem)}$$

$$H = P_{(mSv/sem)}$$

$$R_D = \exp\left(-0.693 \frac{\Delta t}{t_{eff}}\right)$$

$$D(mSv/sem) = NPS \frac{\Gamma \times A_p \times R_D \times R_t \times t_p}{d^2}$$

Donde :

A_p , es la actividad por paciente.

t_p , es el tiempo de permanencia

NPS , es el número de pacientes por semana.

R_D , es el factor de decaimiento radiactivo.

R_t , es el factor de reducción de dosis por excreción.

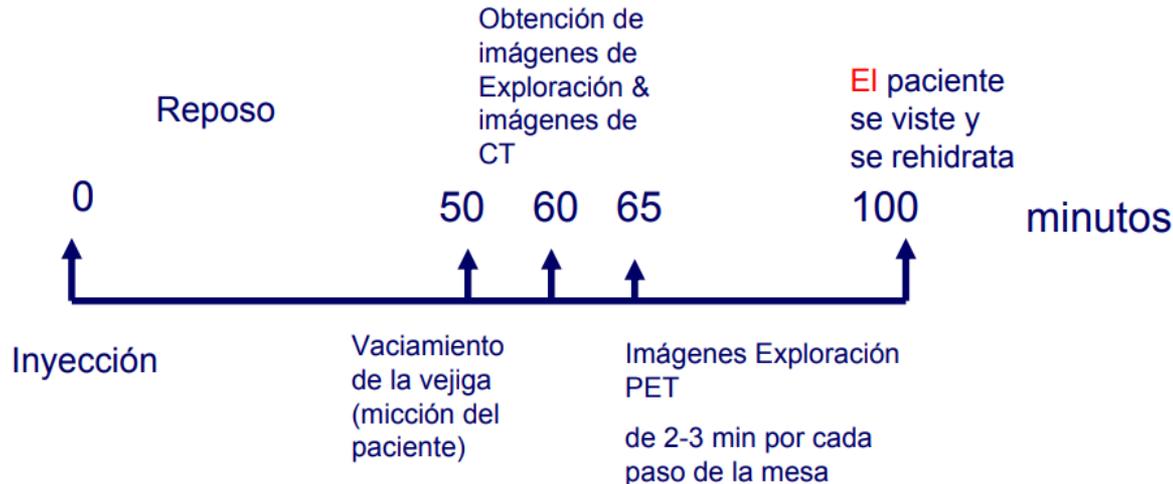
$$R_t = 1.443 \times \left(\frac{t_{eff}}{t_p}\right) \left[1 - \exp\left(-0.693 \frac{t_p}{t_{eff}}\right)\right]$$

$$x = \log\left(\frac{1}{B}\right) \cdot TVL$$

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindajes estructurales. PET/CT

En esta diapositiva se muestra el proceso típico de un estudio PET/CT. En este proceso se distinguen dos etapas fundamentales que ocasionan las mayores dosis al TOE y al público que son REPOSO e IMÁGENES. Para los locales donde ocurren estas etapas se requieren blindajes estructurales.



La radiación del CT es de menor energía en comparación con los fotones de aniquilación positrónica (511 keV), por lo que el blindaje para PET es suficiente

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindajes estructurales. PET/CT

El procedimiento de cálculo en el local de “**reposo**” se muestra a continuación.

Factor de transmisión:

$$B = \frac{P}{T \text{ } Dt_U \text{ } | \text{ } \textit{semanal}}$$

B → tabla → espesor blindaje

P, es la restricción de dosis de diseño.

T, es el factor de ocupación del área.

Dtu/semanal, es la dosis semanal total durante el reposo sin blindaje.

AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements

Mark T. Madsen
Radiology, University of Iowa

Jon A. Anderson
Radiology, University of Texas Southwest Texas Medical Center at Dallas

James R. Halama
Nuclear medicine, Loyola University Medical Center

Jeff Kleck
Altainia, Inc.

Douglas J. Simpkin
Radiology, St. Luke's Medical Center

John R. Votaw
Radiology, Emory University

Richard E. Wendt III
University of Texas MD Anderson Cancer Center

Lawrence E. Williams
Radiology, City of Hope Medical Center

Michael V. Yester
Radiology, University of Alabama at Birmingham Medical Center

(Received 21 July 2005; revised 17 October 2005; accepted for publication 18 October 2005; published 19 December 2005)

The shielding of positron emission tomography (PET) and PET/CT (computed tomography) facilities presents special challenges. The 0.511 MeV annihilation photons associated with positron decay are much higher energy than other diagnostic radiations. As a result, barrier shielding may be required in floors and ceilings as well as adjacent walls. Since the patient becomes the radioactive source after the radiopharmaceutical has been administered, one has to consider the entire time that the subject remains in the clinic. In this report we present methods for estimating the shielding requirements for PET and PET/CT facilities. Information about the physical properties of the most commonly used clinical PET radionuclides is summarized, although the report primarily refers to fluorine-18. Typical PET imaging protocols are reviewed and exposure rates from patients are estimated including self-attenuation by body tissues and physical decay of the radionuclide. Examples of barrier calculations are presented for controlled and noncontrolled areas. Shielding for adjacent rooms with scintillation cameras is also discussed. Tables and graphs of estimated transmission factors for lead, steel, and concrete at 0.511 MeV are also included. Meeting the regulatory limits for uncontrolled areas can be an expensive proposition. Careful planning with the equipment vendor, facility architect, and a qualified medical physicist is necessary to produce a cost effective design while maintaining radiation safety standards © 2006 American Association of Physicists in Medicine. [DOI: 10.1118/1.2135911]

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindajes estructurales. PET/CT

El procedimiento de cálculo en el local de “**reposo**” se muestra a continuación.

$$Dt_U \Big|_{\text{semanal}} = Nw \cdot A \cdot A_0 \cdot t_U \cdot \frac{Rt_U}{d^2}$$

Factor de reducción de dosis (Rtu)

$$Rt_U = 1.443(T_{1/2} / t_U) [1 - \exp(-0.693t_U / T_{1/2})]$$

Nw, es el número de pacientes por semana.

A, es la constante de dosis por unidad de actividad $A = 0.092 \mu\text{Sv m}^2 / \text{MBq h}$

A_0 , es la actividad promedio administrada por paciente.

t_U , es el tiempo de reposo.

Rt_U , es el factor de reducción de dosis durante el reposo.

$$B = \frac{P}{T \cdot Dt_U \Big|_{\text{semanal}}}$$

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindajes estructurales. PET/CT

El procedimiento de cálculo en el local de “imagen” se muestra a continuación.

$$B = P / (T \cdot Dt_i / \text{semanal})$$

$$Dt_i \Big|_{\text{semanal}} = Nw \cdot A \cdot A_0 \cdot [0,85 \cdot Fu] t_i \cdot \frac{Rt_i}{d^2}$$

Dt_i , es la dosis semanal debido a la adquisición de imágenes, sin blindaje

Nw , es el número de pacientes por semana.

A , es la constante de dosis por unidad de actividad $A = 0.092 \mu\text{Sv m}^2 / \text{MBq h}$

A_0 , es la actividad promedio administrada por paciente.

t_i , es el tiempo de adquisición de la imagen

Rt_i , es el factor de reducción de dosis durante la adquisición de imágenes.

Fu , es el factor de reducción de

dosis por reposo

$$F_U = \ominus \exp[-\ln 2 t_U / T_{1/2}]$$

Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindajes estructurales. PET/CT

El procedimiento de cálculo en el local de “imagen” se muestra a continuación.

$$B = P / (T \cdot Dt_i / \text{senanal})$$



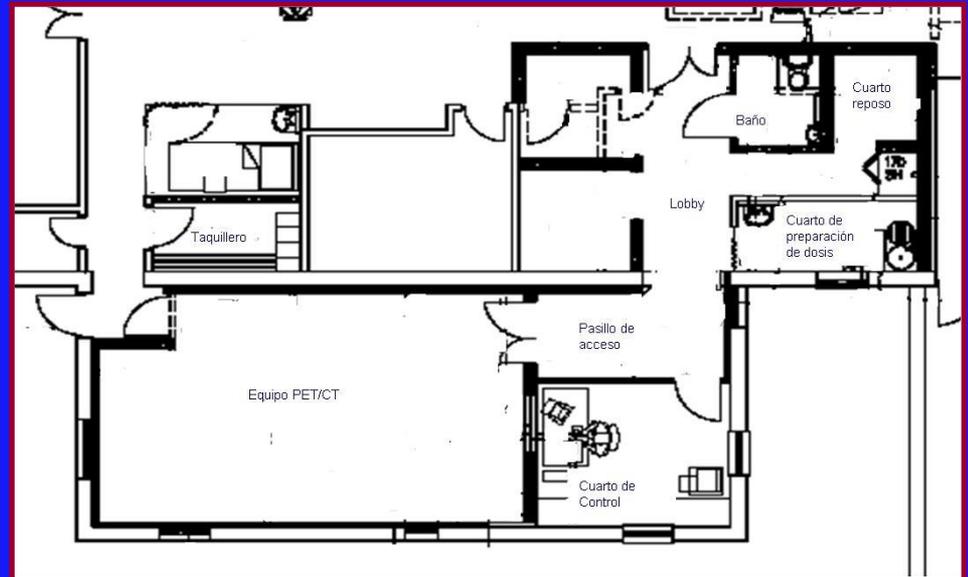
Requisitos para el diseño de instalaciones de Radiodiagnóstico

Blindajes estructurales. PET/CT

Una vez calculados los valores de B (local de reposo) y B(local de imágenes). Se calcula el espesor de blindaje con la ecuación siguiente:

$$x = \log\left(\frac{1}{B}\right) \cdot TVL$$

El TVL para fotones de 511 keV en concreto es 17.6 cm



Particularidades de la exposición ocupacional en MN.

Exposición ocupacional RIESGOS

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



Reducción:



Fuentes de exposición

Apertura de bultos radiactivos.

Mediciones de actividad.

Almacenamiento de fuentes.

Transporte interno de fuentes.

Preparación de radiofármacos.

Administración.

Examen y cuidados del paciente radiactivo.

Manipulación de desechos.

Accidentes.

Distancia



Tiempo



Blindaje



Particularidades de la exposición ocupacional en MN.

Exposición ocupacional (RIESGOS)

Contaminación radiactiva: presencia indeseada de sustancias radiactivas (en forma de gases y aerosoles, líquida, de polvo,) en objetos, superficies, o en el cuerpo humano.

Interna: Radionucleidos ingeridos o inhalados



Externa: Radionucleidos depositados sobre la piel



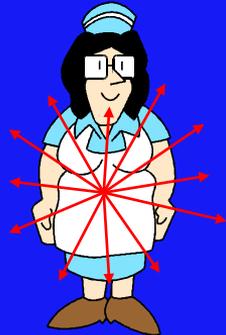
Fuentes de contaminación:

- Derrames
- Cirugía de emergencia o autopsia de un paciente de terapia fallecido

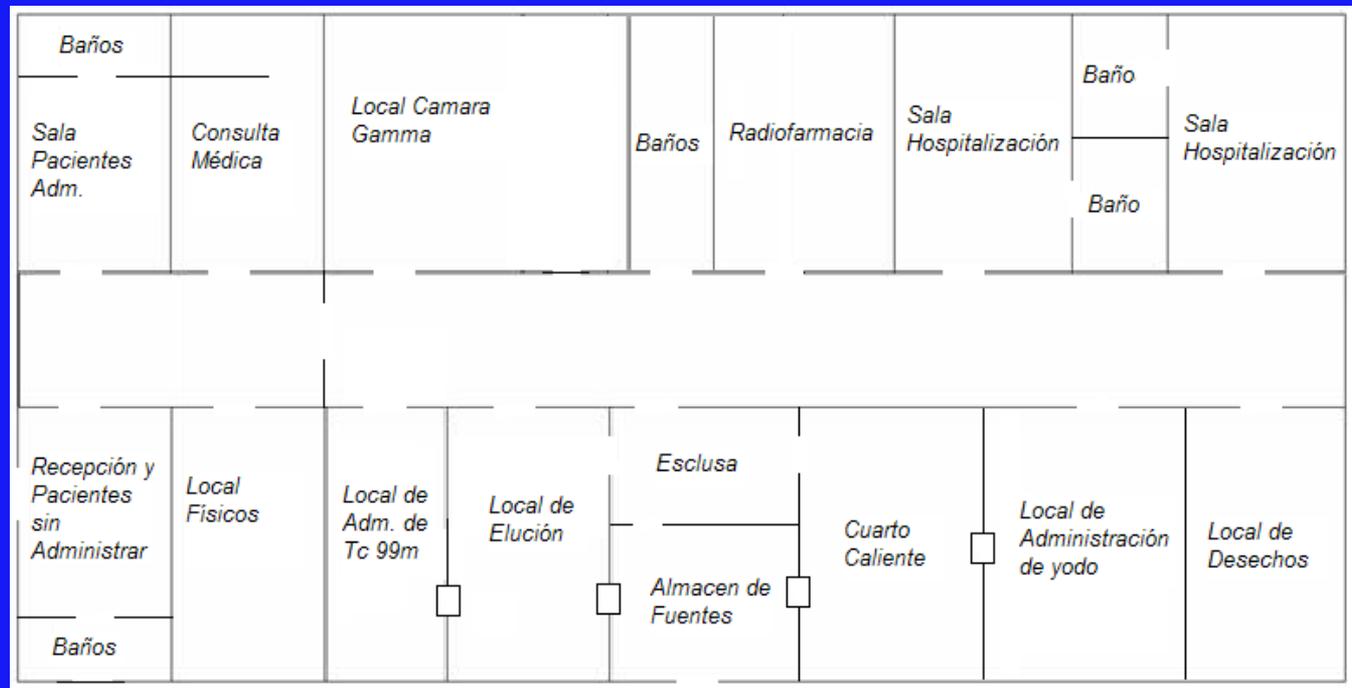


Reducción:

- Operación dentro de recintos especiales
- Procedimientos Operativos y de PR
- Retención de derrames y descontaminación
- Realización de monitoreos periódicos
- Adopción de condiciones de operación limpias y buenas prácticas de laboratorio
- Usar guantes y ropa protectora.



Exposición Ocupacional. Delimitación de áreas



¿Zona Controlada?

¿Zona Supervisada?

Exposición Ocupacional. Delimitación de áreas MN

Zona Controlada.

- *Locales de preparación de radiofármacos y Control de calidad.*
- *Local de administración de radiofármacos.*
- *Local de hospitalización de pacientes con dosis terapéuticas.*
- *Local de almacenamiento de desechos radiactivos. Incluidos locales de tanques de retención de efluentes.*
- *Local de adquisición de imágenes y otros equipos de medición. Incluido el panel de control.*
- *Sala de espera y baños de pacientes con dosis administradas.*

Zona Supervisada.

- *Local de espera y baños de pacientes sin dosis administradas.*
- *Oficinas y locales de estancia de médicos, físicos y tecnólogos.*

Exposición Ocupacional. Delimitación de áreas MN

Señalización

.....instrucciones adecuadas en los puntos de acceso.
Señalización.



Exposición Ocupacional. Monitoreo Individual



Monitoreo individual: El titular de la práctica garantizará que se realice la evaluación de la exposición ocupacional de los trabajadores en base al monitoreo individual de aquellos que lo requieran.

El monitoreo deberá realizarse por un servicio de dosimetría apropiado y los resultados se darán en valores de dosis equivalente $H_p(d)$. En muchos países se ha asumido como criterio cuantitativo para determinar la necesidad del monitoreo individual “que el trabajador no reciba, por concepto de su exposición normal o por exposiciones potenciales, dosis mayores de 2 mSv/año”.

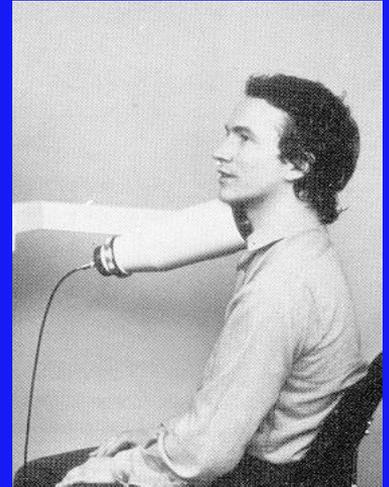
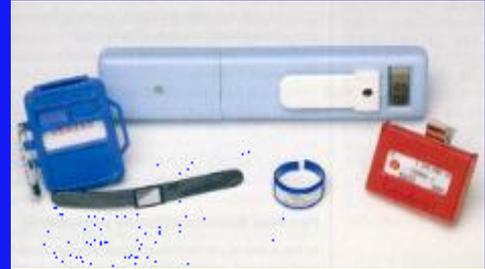
Monitoreo individual de extremidades: Se requiere para aquellos trabajadores que realizan actividades de preparación y administración de radiofármaco.



Exposición Ocupacional. Monitoreo Individual

Monitoreo de la Contaminación Interna: Para aquellos trabajadores que realizan actividades de preparación de dosis y administración utilizando isótopos volátiles se requiere el control de la contaminación interna, siempre que se evalúe que la dosis efectiva comprometida debido a la incorporación anual puede exceder de 1 mSv.

Las mediciones para evaluar, la dosis efectiva comprometida, debido a contaminación interna debe hacerse con una periodicidad adecuada teniendo en cuenta el periodo de semidesintegración del radioisótopo utilizado y la carga de trabajo.

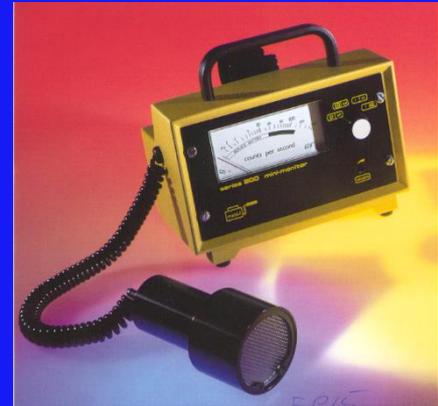


Exposición Ocupacional. Monitoreo de zona

Monitoreo de puestos de trabajo: Se deberá implementar un programa de monitoreo de los puestos de trabajo que incluya:

- *Magnitudes que deben ser medidas,*
- *Donde, cuando y con que frecuencia monitorear.*
- *Procedimientos y métodos de medición mas apropiados.*
- *Niveles de referencias y acciones que deben ser aplicadas si estos son superados.*

El monitoreo deberá realizarse con equipos apropiados, capaces de medir para la energía y tipos de radiación en cuestión, niveles de tasa de dosis que se encuentren entre los μSv y las decenas de mSv .



Exposición Ocupacional. Monitoreo de zona

Monitoreo radiológico de zona

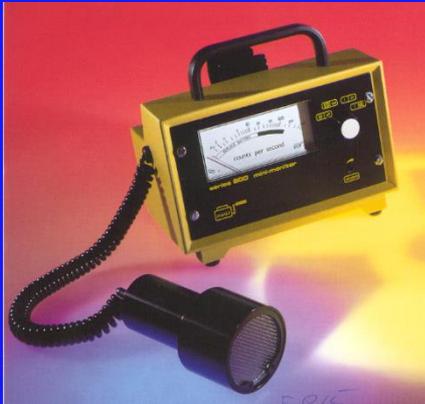
- Riesgo Alto: Diariamente al concluir la Jornada de Trabajo.
- Riesgo Medio Semanalmente.
- Riesgo bajo una vez al mes.



Exposición Ocupacional. Monitoreo de zona

Programas de vigilancia radiológica de los puestos de trabajo

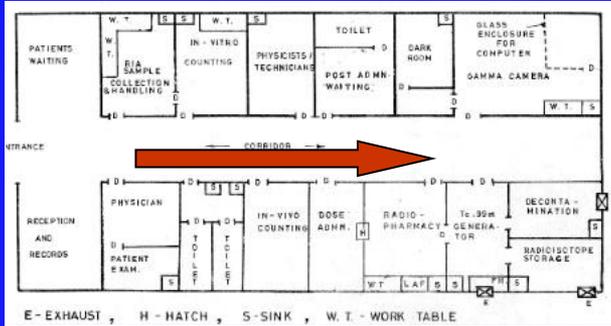
Al medir contaminación superficial debe tomarse en cuenta la influencia de fuentes existentes cerca del lugar donde se monitorea. Se recomienda tomar frotas y medir en lugares de bajo fondo.



**Monitor de
contaminación**



Particularidades de la exposición de público en MN.



Paciente con I-131

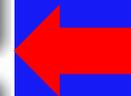


Diseño, clasificación de áreas, control de acceso, sala de espera exclusiva de pacientes administrados

Baño de uso exclusivo de pacientes inyectados.

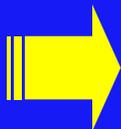
Evaluar blindar estructuras y uso de blindajes móviles

Fuentes y desechos almacenados, para prevenir uso indebido y robo. Uso de señales de advertencia. Registro de inventario



Clasificación de zonas, acceso limitado, cerrar en horario no laboral

Particularidades de la exposición de público en MN.



El Paciente Radiactivo

¿Fuente radiactiva sin control que causa exposición externa y contaminación del público en general?

¡SI! (después de dejar el hospital)

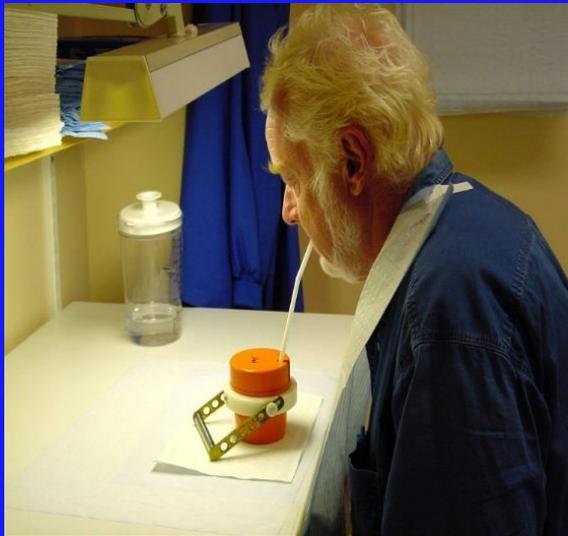
En MNT se requiere la medición del paciente antes del alta

- Tarjeta de advertencia a visitantes.
- Instrucciones escritas al ser dado de alta.
- Medidas especiales en caso de muerte de paciente de terapia
- Mujeres lactantes (procedimientos específicos)
- Restricción de visitas y tiempo < de 30 min.
- No se permite la visita al paciente por menores de 18 años.



Particularidades de la exposición Médica.

JUSTIFICACION en las Exposiciones Médicas



Aunque la práctica de Medicina Nuclear, se considera en sentido general, una práctica Justificada, ello no basta para que sea utilizada en todos los pacientes y es por ello que se requiere una Justificación específica para cada paciente y para cada tipo de examen diagnóstico o terapia.

El facultativo médico que prescribe, de conjunto con el médico ejecutor del procedimiento de MN (médico nuclear) tiene la responsabilidad por la justificación específica y no se permite en ningún caso que se realice, si no hay una clara indicación clínica de dicha exposición.

Particularidades de la exposición Médica.

Optimización

- Consideraciones relativas al diseño
 - Requisitos para equipos
- Consideraciones relativas a las Operaciones
 - Exposiciones con fines diagnósticos y terapéuticos
- Calibración
- Dosimetría Clínica
- Garantía de la Calidad

Particularidades de la exposición Médica.

Optimización

Consideraciones relativas a la operación. (Medicina Nuclear)

Si más de un radiofármaco puede ser usado para un procedimiento, deben ser consideradas las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Ejemplo: marcar leucocitos con:

In-111

0.36 mSv/MBq

20 MBq → 7.2 mSv

$T_{1/2} = 2.8$ días

Tc-99m

0.011 mSv/MBq

200 MBq → 2.2 mSv

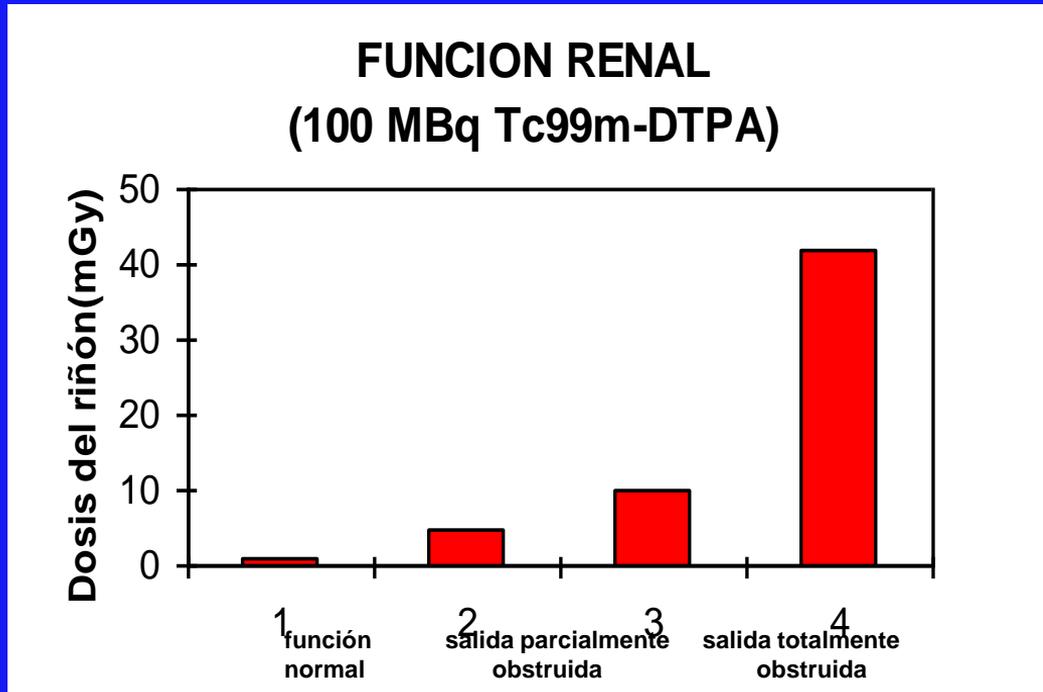
$T_{1/2} = 6$ horas



Particularidades de la exposición Médica.

Factores que influyen en la Optimización.

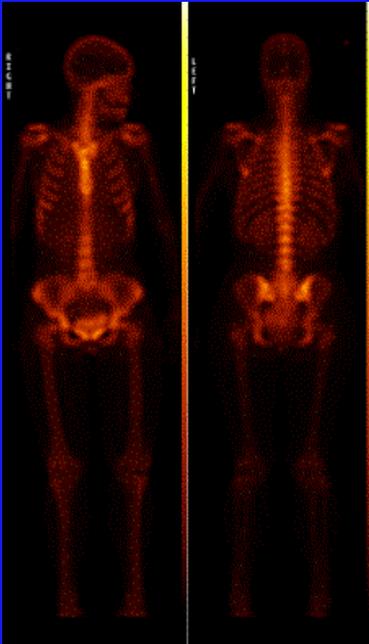
FUNCION DE ORGANOS



Particularidades de la exposición Médica.

Factores que influyen en la Optimización.

Métodos para bloquear la captación



- Agentes bloqueadores para la tiroides
- Hidratación y vaciamiento frecuente de la vejiga urinaria
- Laxantes
- Sonda para vaciar la vejiga???
- Colecistoquinina (comidas grasas) para vaciar la vesícula

Particularidades de la exposición Médica. Optimización.

Aspectos relacionados con la calibración de los equipos.

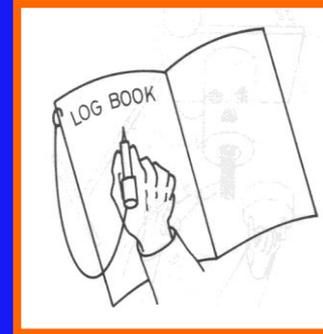
Los equipos utilizados en Medicina Nuclear deberán ser sometidos a pruebas de aceptación y puesta en servicio ante de su uso clínico y después de trabajos de mantenimiento que puedan afectar parámetros físicos de estos equipos. Las pruebas deben abarcar el calibrador de dosis, todos los equipos usados en los diferentes procedimientos (Cámaras gamma, SPECT, PET, detectores direccionales, etc.). Las pruebas deben realizarse en correspondencia con protocolos internacionalmente aceptados (NEMA).



Particularidades de la exposición Médica. Optimización.

Aspectos relacionados con la dosimetría clínica.

La dosis de radiofármaco administrada a cada paciente debe ser correctamente medida y registrada convenientemente. En base a la actividad administrada podrá evaluarse la dosis que reciben los pacientes en caso donde ello sea requerido.



Particularidades de la exposición Médica. Optimización.

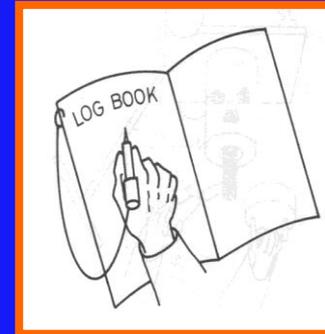
Aspectos relacionados con la garantía de calidad.

Se deberá implementar un programa de Garantía de calidad de las exposiciones médicas que incluya la realización de pruebas de Control de Calidad a los equipos utilizados en la práctica de medicina nuclear. Las pruebas de Control de Calidad deberán realizarse en correspondencia con protocolos internacionalmente aceptados.

Las pruebas de control de calidad deberán incluir pruebas diarias y pruebas periódicas y deberán ser registrados los resultados de estas pruebas.



CRC 15W
Item # 5130-0113



Conclusiones:

- 1) La práctica de MN debe cumplir requisitos administrativos y organizacionales en correspondencia con el riesgo según la norma UY 117.**
- 2) Los equipos usados en estas prácticas deben cumplir con la normativa de la IEC aplicable.**
- 3) Las instalaciones donde se realiza la práctica deben cumplir requisitos de diseños que garanticen la protección radiológica de pacientes, trabajadores y público. Blindajes apropiados cuando se requieran.**
- 4) Se deben cumplir requisitos que garanticen la seguridad radiológica en las exposiciones médicas, ocupacional y del público.**

