

Pasantía en Medicina Nuclear.

**Diseño de un servicio de Medicina
Nuclear.**

Objetivo

- **Que los participantes conozcan los aspectos de protección radiológica que deben ser considerados en el diseño de un servicio de Medicina Nuclear.**

CONTENIDO

- Criterios a tomar en cuenta al diseñar los locales y áreas de trabajo en MN.
- Locales que se requieren en un servicio de MN.
- Requisitos de diseño de las instalaciones. Clasificación según el riesgo radiológico.
- Blindajes.

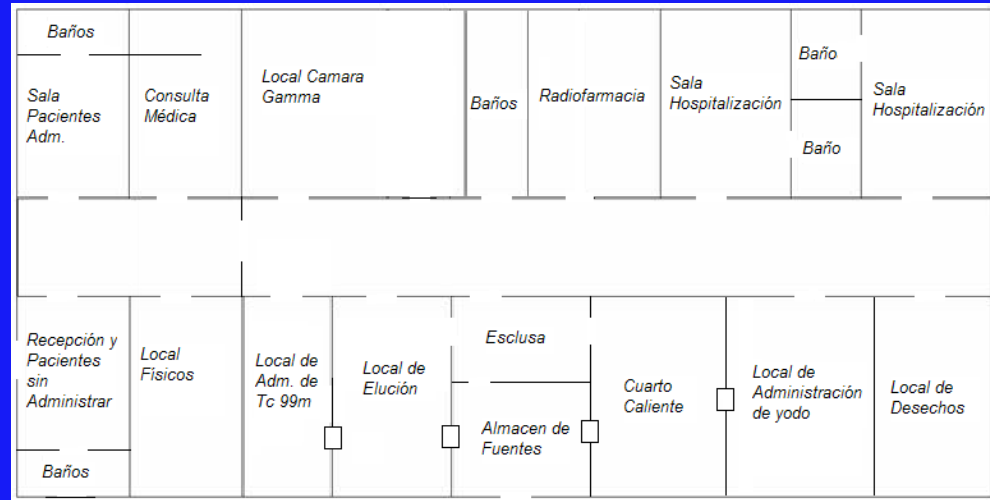
Requisitos de diseño de las instalaciones.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

Al diseñar un servicio de Medicina Nuclear se debe considerar los elementos siguientes:

- Defensa en profundidad.
- Flujo tecnológico del servicio.



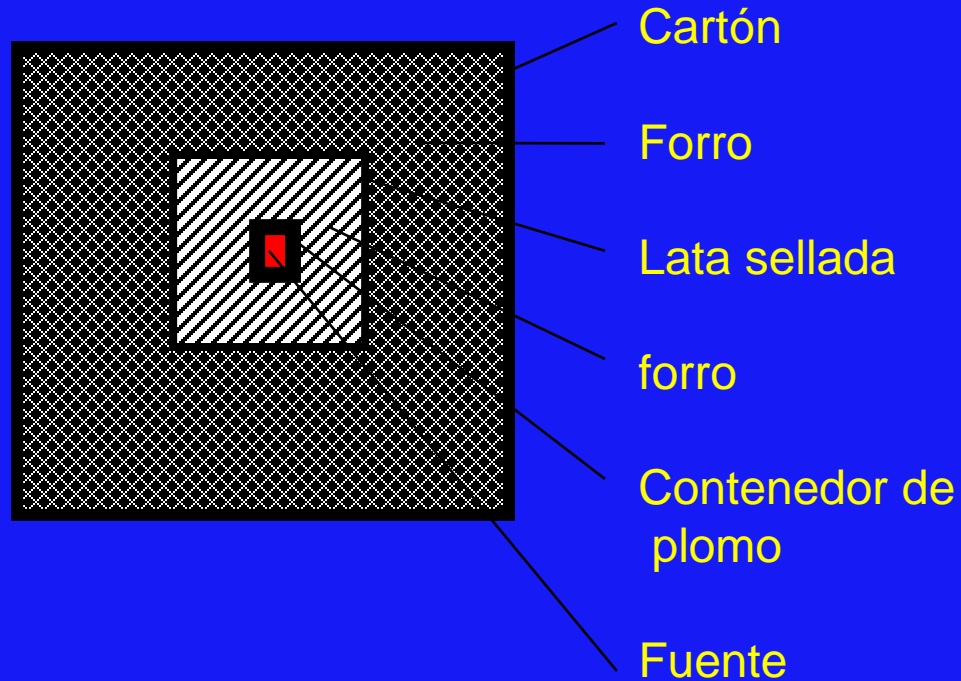
Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

- Defensa en profundidad.



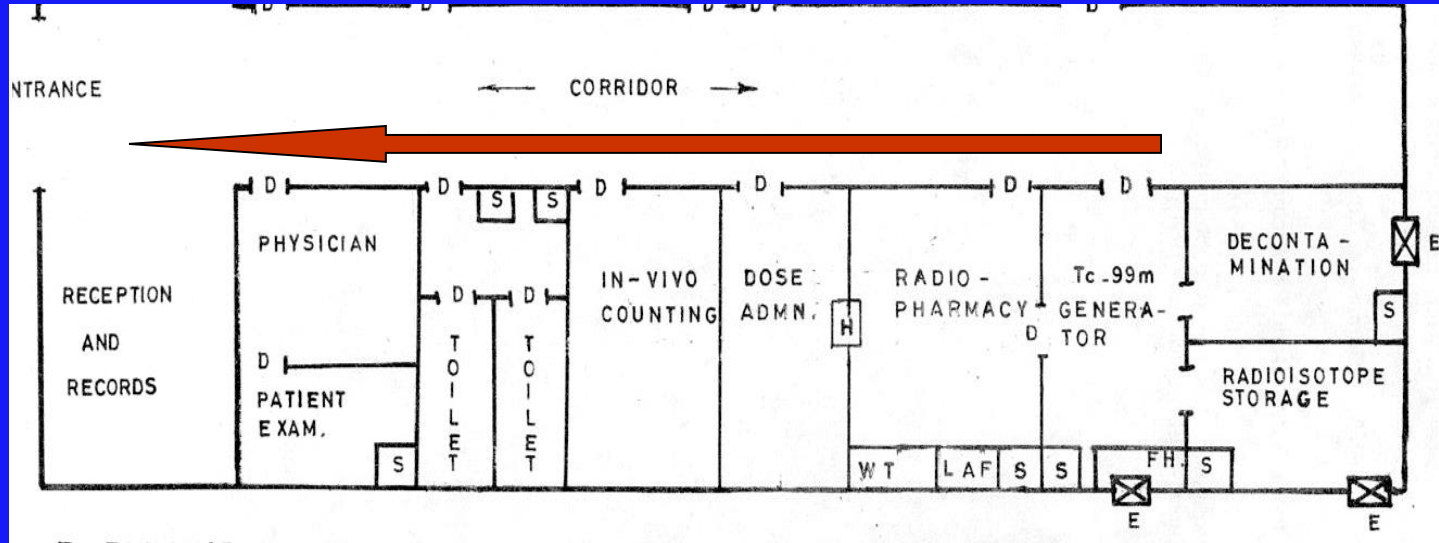
Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

Defensa en profundidad



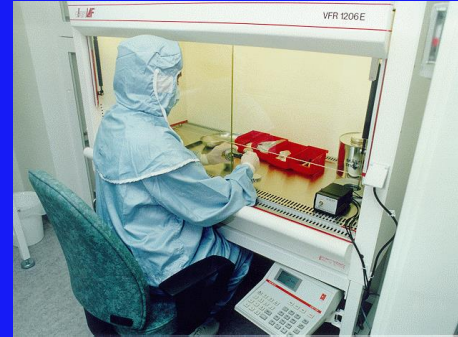
Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

Defensa en profundidad

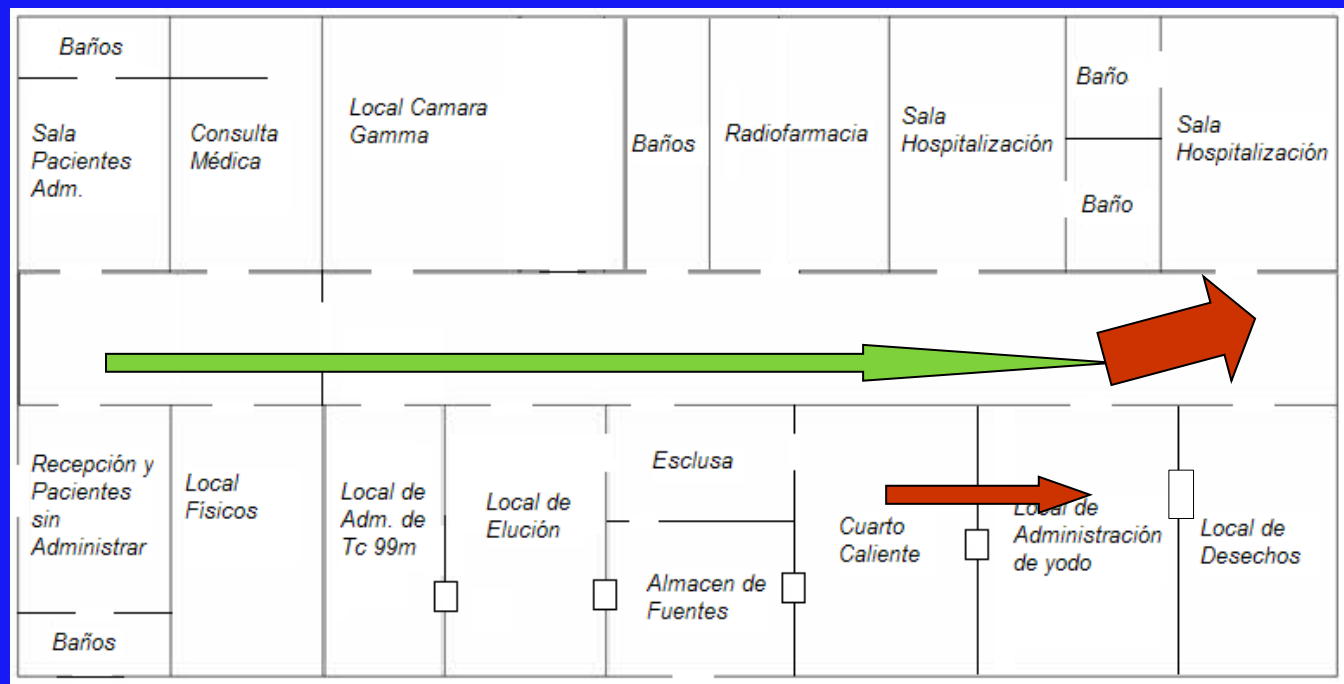


Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

- Flujo tecnológico del servicio.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear



1. Flujo de Material Radiactivo.
2. Flujo de Pacientes

 **Mínimo trasiego de**
 **ambos**

Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

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

Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

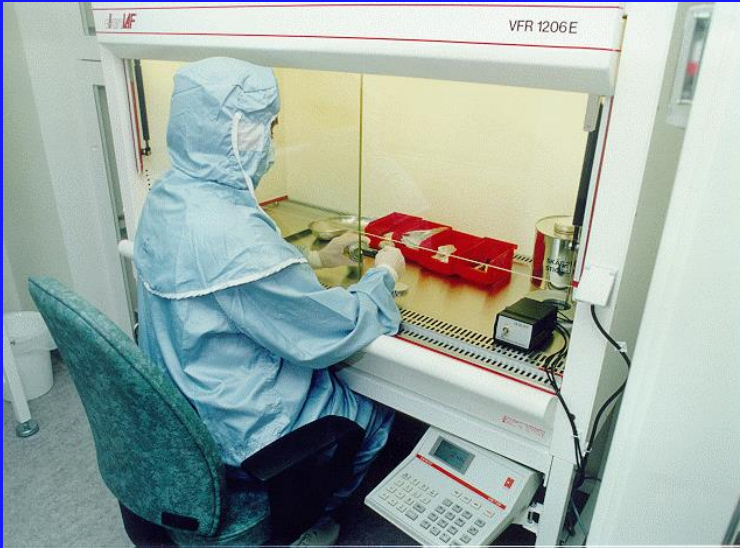


Local de preparación y distribución de radiofármacos.

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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear



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 Medicina Nuclear



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 Medicina Nuclear



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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear



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 Medicina Nuclear



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 Medicina Nuclear



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 Medicina Nuclear

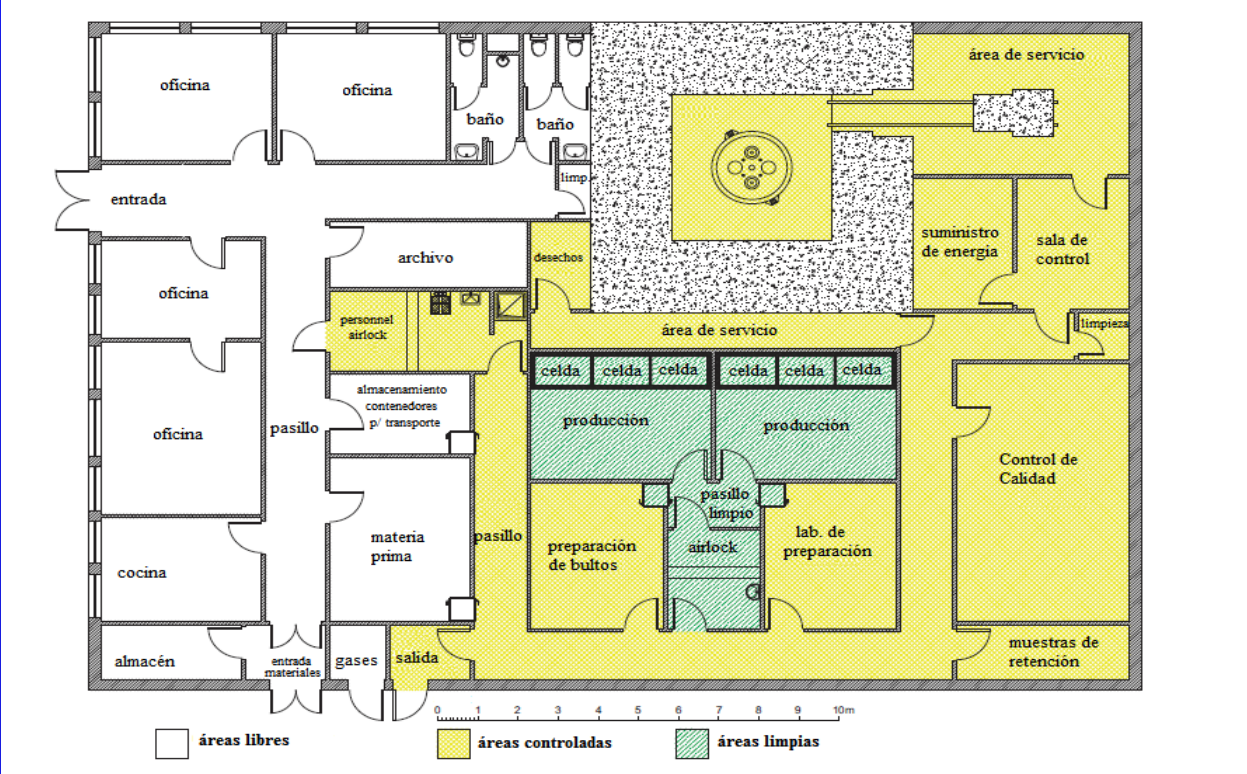


Local para el almacenamiento de desechos radiactivos.

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

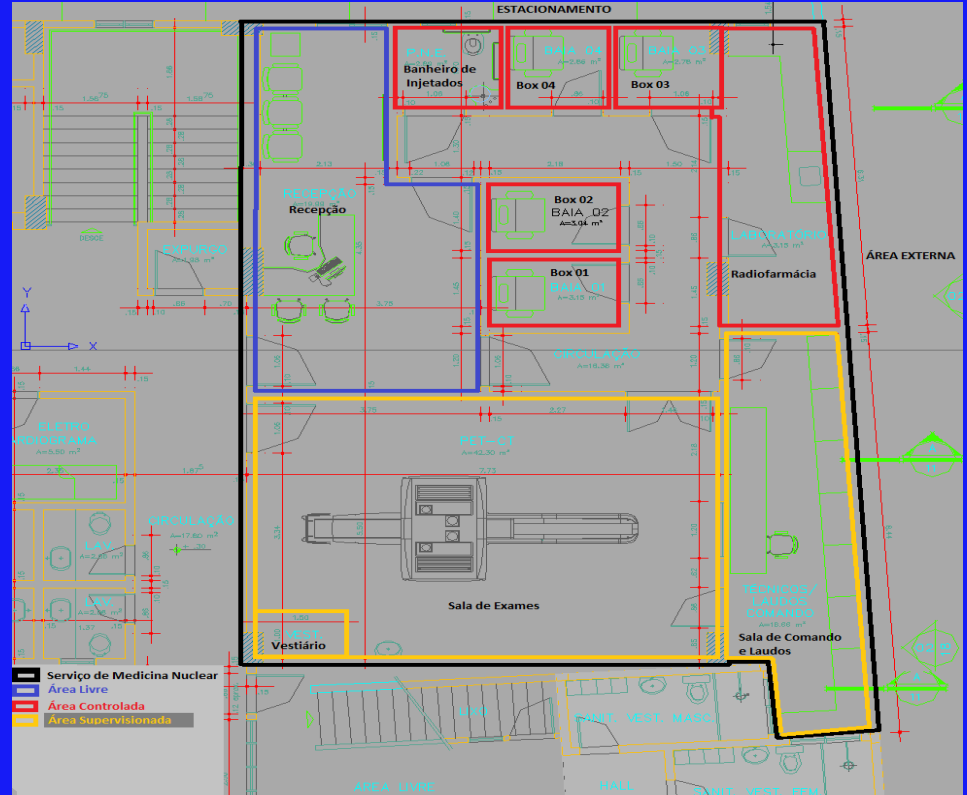
Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

Instalación del Ciclotrón.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear Para Centros de Diagnósticos PET

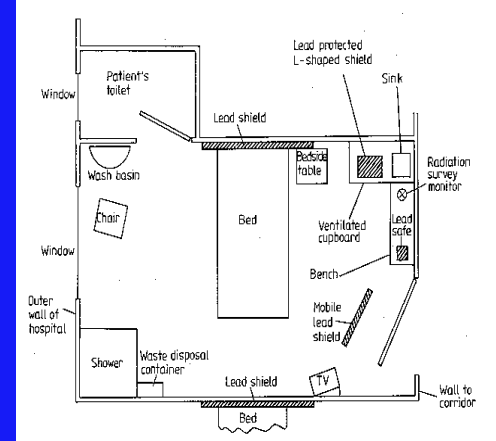
Cuartos para el descanso de los pacientes antes de la adquisición de las imágenes.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

Categorización del Riesgo

Basado en el cálculo de la actividad ponderada usando factores de ponderación de acuerdo con el radionucleido usado y el tipo de operación realizada.

<u>Actividad ponderada</u>	<u>Categoría</u>
< 50 MBq	Riesgo bajo
50-50000 MBq	Riesgo medio
>50000 MBq	Riesgo alto



Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

Categoría de riesgo



Riesgo alto

- ❑ Cuarto para preparación y distribución de radiofármacos.
- ❑ Almacenamiento temporal de desechos.
- ❑ Cuarto para administración de radiofármacos.
- ❑ Cuarto de hospitalización de pacientes con dosis terapéuticas

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 Medicina Nuclear

Acabado de las superficies. Locales de alto riesgo



Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

Acabado de las superficies. Locales de alto riesgo

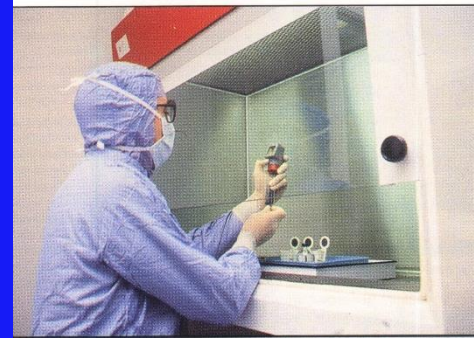
Superficies de Trabajo



Superficies de trabajo revestidas con material poco absorbente de fácil descontaminación

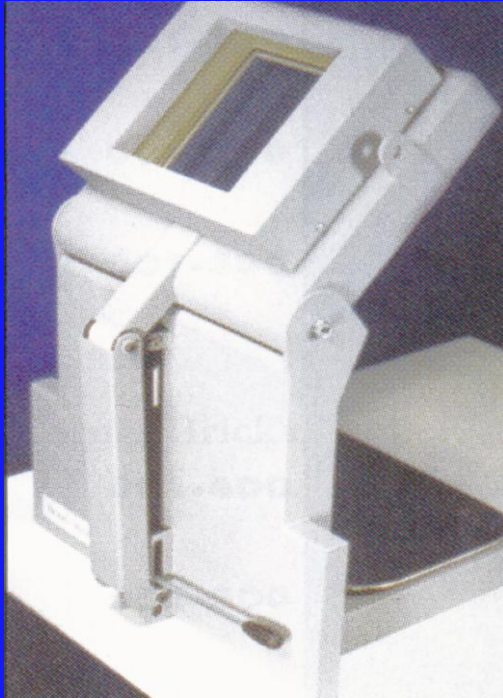
Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

Blindaje de las fuentes. Locales de alto riesgo



Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

Blindaje de las fuentes. Locales de alto riesgo



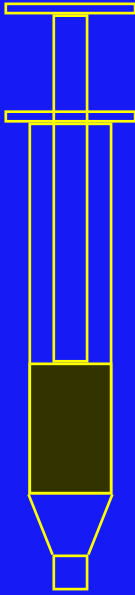
Energía de la Radiación Gamma de aniquilación positrónica 511 keV



Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

Ventilación de los locales. Riesgo Alto

Los locales de **alto riesgo** donde se utilizan fuentes radiactivas no selladas y las mismas pueden dar lugar a gases y aerosoles (fuentes volátiles) 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 Medicina Nuclear

Ventilación de los locales. Riesgo Medio

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 Medicina Nuclear

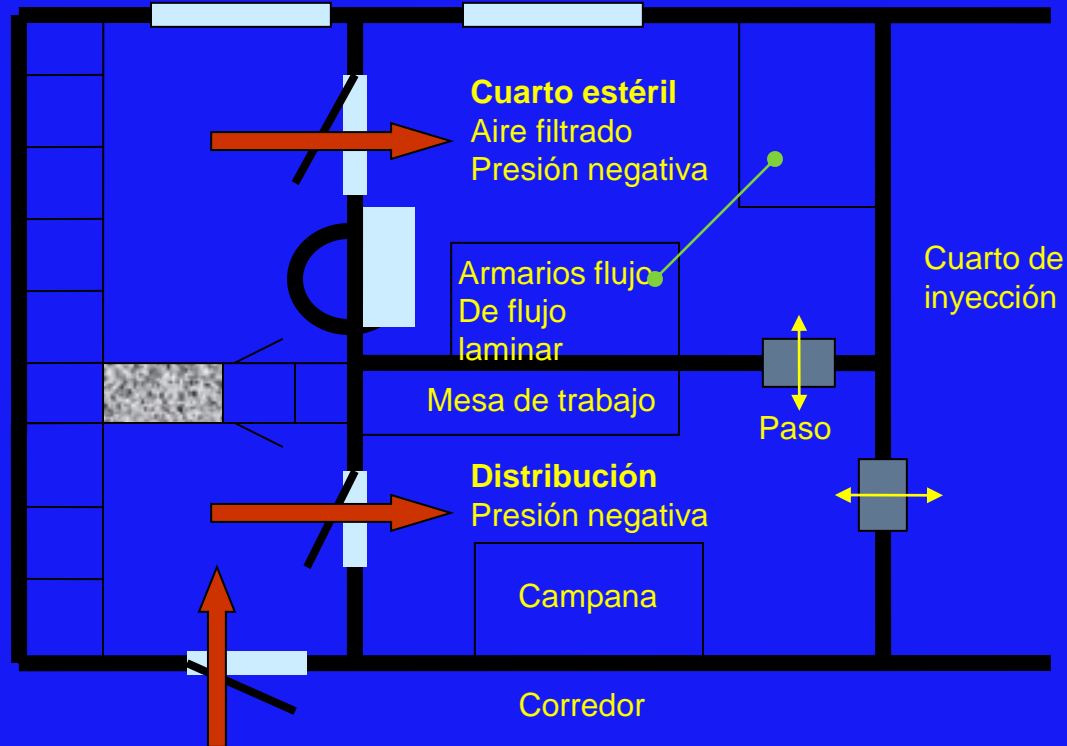
Ventilación de los locales.

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 Medicina Nuclear

Ventilación de los locales.



Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

Ventilación de los locales. Riesgo Alto



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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

Blindajes estructurales. Tc99m



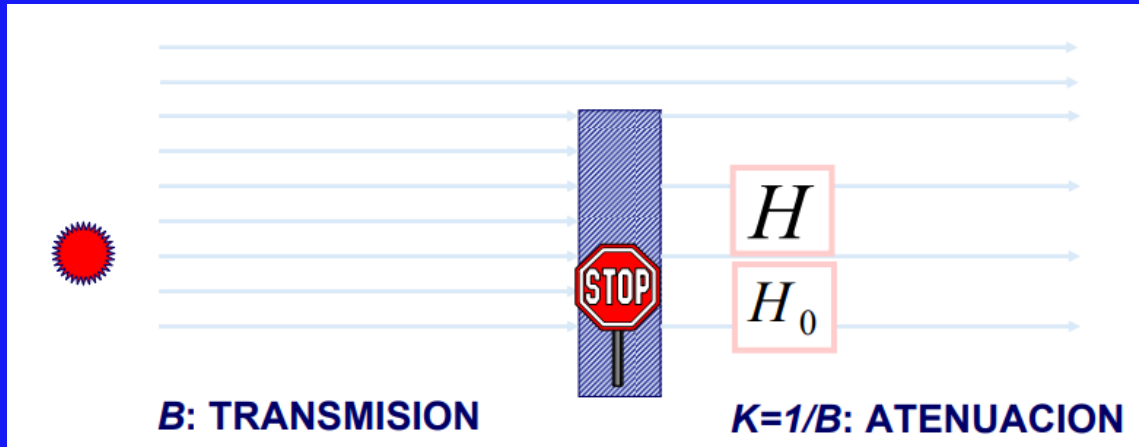
En medicina nuclear convencional con Tc99m. Las estructuras de las paredes y la distancia al paciente mayor de 2 m son suficientes para garantizar la protección radiológica de TOE y público. No se requiere hacer un cálculo de blindaje para los locales.

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 Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

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.

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

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

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

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

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

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

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.

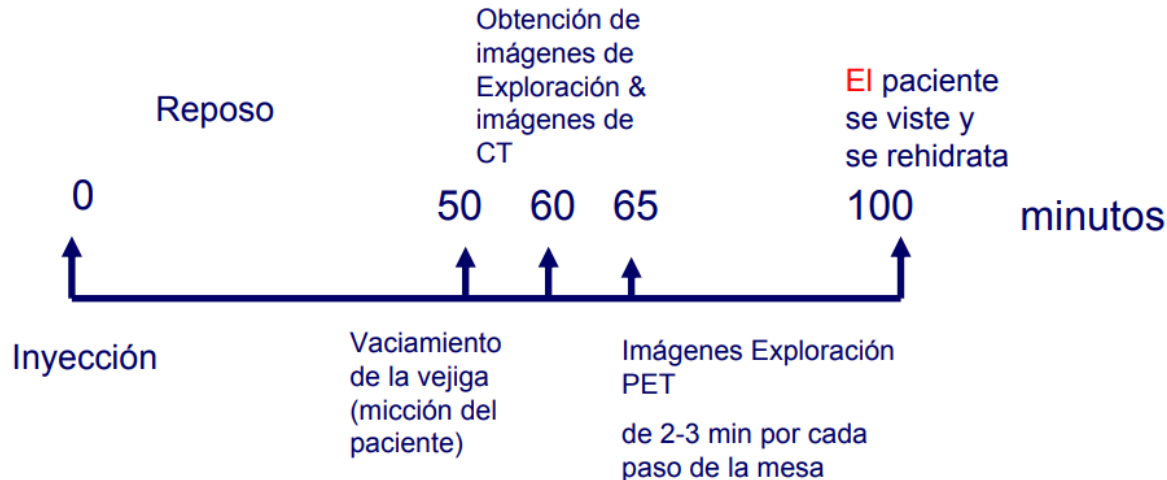
R_t , es el factor de reducción de dosis por excreción.

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

Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

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 Medicina Nuclear

Blindajes estructurales. PET/CT

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

Factor de transmisión:

$$B = \frac{P}{T \cdot D t_U |_{\text{semanal}}}$$

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 Medicina Nuclear

Blindajes estructurales. PET/CT

El procedimiento de cálculo en el local de “Incorporación” 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)

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

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

Nw, es el número de pacientes por semana.

A, es la constante de dosis por unidad de actividad (considerando la autoabsorción)

$$A = 0.092 \mu\text{Sv m}^2 / \text{MBq h}$$

A₀, es la actividad promedio administrada por paciente.

t_U, es el tiempo de incorporación.

Rt_U, es el factor de reducción de dosis durante la incorporación.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

Blindajes estructurales. PET/CT

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

$$F_U = \exp[-0.693t_U/T_{1/2}]$$

$$R_{ij} = 1.443 \times (T_{1/2}/t_i) \times [1 - \exp(-0.693t_i/T_{1/2})]$$

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

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

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 incorporación.

Requisitos para el diseño de instalaciones de Medicina Nuclear

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

También se puede usar directamente la Tabla IV de documento AAPM TG 108 (pag. 7). Basado en la ecuación de Archer.

