

Diseño del centro PET/CT del Instituto de Oncología y Radiobiología

Joaquín Jorge González González¹, Carlos Fabián Calderón Marín¹, Waldo Quesada Cepero¹, Arturo de Prit¹, Consuelo Varela Corona², Roberto Figueroa Pérez², Cruz Duménigo González³, Andrés de la Fuente Puch³, Belkys Sinconegui Gómez¹, Aldo Martínez Ramírez¹, Juan Perfecto Oliva González¹

¹Departamento de Medicina Nuclear. Instituto de Oncología y Radiobiología

Calle 29 y F. Vedado, Plaza. La Habana, Cuba

²Centro para el Control Estatal de Medicamentos, Equipos y Dispositivos Médicos

³Centro Nacional de Seguridad Nuclear

jgg@infomed.sld.cu

Resumen

En el trabajo se presenta el diseño del centro PET/CT del Instituto de Oncología y Radiobiología. Los cálculos de blindaje estructural para el PET se realizaron según la metodología propuesta por el Task Group 108 de la AAPM: “*PET and PET/CT shielding requirements*”, teniendo en cuenta los factores de ocupación descritos en la NCRP-147: “*Structural shielding design for medical imaging X-ray facilities*” y los niveles de restricción de dosis vigentes en Cuba según la Resolución 40/2011 del Centro Nacional de Seguridad Nuclear para la práctica de la Medicina Nuclear. En el diseño de la instalación se consideraron las recomendaciones de la Guía Europea para la dispensación de radiofármacos PET y preparación de radiofármacos PET a pequeña escala en condiciones de Buenas Prácticas de Manufactura. El diseño propuesto satisface los estándares funcionales de un centro PET/CT en correspondencia con la práctica internacional y los resultados de los cálculos de blindajes estructurales garantizan los niveles de exposición para miembros del público y trabajadores ocupacionalmente expuestos en correspondencia con las regulaciones nacionales vigentes de seguridad radiológica.

Palabras clave: blindaje; seguridad ocupacional; radiofármacos; diseño; tomografía computarizada con positrón; dosis de radiación; pacientes

Design of PET/CT center at Institute of Oncology and Radiobiology

Abstract

The design of PET/CT center at Institute of Oncology and Radiobiology, Havana, Cuba is presented. The structural shielding requirements were performed according to the methodology described by AAPM Task Group 108: “*PET and PET/CT shielding requirements*” taking into account the occupation factors from NCRP-147: “*Structural shielding design for medical imaging X-ray facilities*” as well as the dose restrictions established by the Cuban Nuclear Regulatory Body for Nuclear Medicine practice. The design of facilities took into consideration the current recommendations of the European Guidance on good manufacturing practices for small-scale preparation of radiopharmaceuticals. The proposed design satisfies the functional standards of PET/CT centers according to the international practice and the results of structural shielding calculations warrant exposition levels for public and occupational workers according to the current radiation protection regulations.

Key words: shielding; occupational safety; radiopharmaceuticals; design; positron computed tomography; radiation doses; patients

Introducción

La tecnología PET/CT es un híbrido integrado por un tomógrafo PET (tomografía por emisión de positrones) y un CT (tomografía computarizada de rayos X) que permite el estudio de procesos metabólicos en humanos

mediante imágenes tridimensionales espacialmente coregistradas y fusionadas.

El desarrollo acelerado que ha alcanzado la tecnología PET/CT en los últimos años, conjuntamente con su impacto en la oncología clínica ha propiciado un incremento considerable de la demanda de esta técnica

en todo el mundo. Teniendo en cuenta la tendencia creciente de la incidencia de cáncer en la población cubana y siendo el Instituto de Oncología y Radiobiología el centro especializado en el diagnóstico y tratamiento de esta enfermedad, se ha proyectado la introducción de la tecnología PET/CT en esta institución. Dada la alta energía de la radiación producida por la aniquilación del electrón-positrón debido al uso de radiofármacos emisores de positrones, los requerimientos de blindaje estructural para el diseño de un centro PET/CT son diferentes a los requerimientos de las instalaciones convencionales de Medicina Nuclear que emplean radiofármacos emisores gamma como el ^{99m}Tc .

Este trabajo presenta los resultados del diseño funcional y cálculo de los blindajes estructurales del centro PET/CT del Instituto de Oncología y Radiobiología (INOR).

Materiales y Métodos

El INOR es un centro de nivel terciario del Sistema de Salud Pública de Cuba dedicado al diagnóstico y tratamiento del cáncer que justifica la instalación y operación eficiente de un centro PET/CT, por lo que se ha previsto la instalación de un tomógrafo híbrido PET/CT Gemini TF64 comercializado por la empresa Phillips (figura 1).



Figura 1. Tomógrafo PET/CT Gemini TF64.

Diseño del centro PET/CT

El diseño está determinado por la distribución y tamaño de los locales requeridos para satisfacer las necesidades funcionales y los requerimientos necesarios para la dispensación y preparación de radiofármacos PET a pequeña escala, así como los requisitos de protección radiológica que dependerán de la carga de trabajo planificada para la instalación. Ello se llevó a cabo en un limitado espacio dentro del Servicio de Imagenología, por lo que en el diseño se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones [1]:

1. En el diseño de las instalaciones se contempla las facilidades ya existentes en los Servicios de Medicina Nuclear e Imagenología del INOR.
2. El laboratorio caliente se ubicará lo más cerca posible del local de inyección y reposo.

3. El laboratorio caliente deberá cumplir los requisitos correspondientes a un área de clasificación grado D.
4. El local de inyección y reposo tendrá capacidad para cuatro pacientes con fácil acceso a un baño sanitario para los pacientes inyectados.
5. Las barreras en los locales adyacentes y situados encima de la instalación se diseñarán para evitar exposiciones innecesarias al público.
6. Las dosis de radiofármacos marcados con ^{18}F que se administrarán a los pacientes se recibirán en un vial matriz en el laboratorio caliente, desde un centro de distribución centralizado en dos sesiones de trabajo.
7. La preparación de radiofármacos PET marcados con ^{68}Ga a pequeña escala se realizará en una celda caliente grado A instalada en el laboratorio caliente.

Ubicación del centro PET/CT

El centro PET/CT se ubicó en las áreas del Servicio de Imagenología en la planta baja del bloque quirúrgico. La entrada principal de este bloque tiene acceso directo desde el exterior a la sala de espera. Además, tiene un acceso de servicio para medios de transporte por la parte trasera del edificio y un pasillo interior que se comunica con la galería de la planta baja de la sección D con salida directa a la parte exterior de la institución. En la parte superior existen áreas de uso público y de actividad hospitalaria.

Ubicación de los locales

Los locales se ubicaron de acuerdo con el riesgo de exposición en zonas supervisadas (de bajo riesgo) o zonas controladas (de alto riesgo).

Zona supervisada (de bajo riesgo de exposición)

Oficina de control de turnos: se aprovechará esta facilidad existente en el Servicio de Medicina Nuclear. Se recibirán las indicaciones para que sean evaluadas en cuanto a su pertinencia por los médicos del servicio y se emitirá el turno correspondiente con las indicaciones para la preparación.

Área de espera y recepción: se aprovecharán las facilidades existentes del Servicio de Imagenología, que cuenta además con baños sanitarios para hombres y mujeres. Esta área se encuentra frente a la entrada del centro PET/CT.

Local de consulta: es un local situado a la entrada del centro PET/CT. Tendrá un área de 3.5 x 2.0 m². En él se entrevistará al paciente acerca del cumplimiento de la preparación, se le determinará el nivel de glucosa en sangre, se le explicará el procedimiento a realizar y se le solicitará firmar el consentimiento informado. El local dispondrá de suministro de gases medicinales (oxígeno y vacío para aspiración) y de un sistema de monitoreo visual mediante cámara web con el local de inyección y reposo.

Área para el almacenamiento de materiales no radiactivos: se emplearán las facilidades existentes en el Servicio de Medicina Nuclear para el almacenamiento de los materiales no radiactivos, incluyendo los reac-

tivos y kits de radiofármacos que se almacenarán de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

Local de cambio de vestuario: es el área a través de la cual acceden los trabajadores al centro PET/CT y donde se realiza el cambio de vestuario. En este local se realiza el control radiológico de la contaminación corporal de los trabajadores del centro PET/CT. Tendrá un área de 3.5 x 2.5 m² con una ducha para emergencias radiológicas y lavamanos.

Local de reporte: se utilizará la facilidad existente en el Servicio de Medicina Nuclear. En este local se evalúan las imágenes y se realiza el informe médico. Las imágenes se transfieren desde la consola de adquisición a través de la intranet del INOR.

Baño sanitario para trabajadores: se ubicará un baño sanitario para uso exclusivo de los trabajadores del centro PET/CT.

Zona controlada (de alto riesgo de exposición)

Laboratorio caliente: es un local grado D con un área de 2.5 x 2.5 m² en el cual se ubicará una celda caliente blindada con 50 mm de espesor de Pb diseñada para la dispensación de radiofármacos PET y preparación de radiofármacos a pequeña escala marcados con ⁶⁸Ga en condiciones de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) [2]. El local tendrá acceso solo a través de una esclusa. La celda caliente se mantendrá bajo presión negativa mientras que el área circundante donde está ubicada se mantendrá con presión positiva respecto al resto de los locales circundantes para evitar el ingreso de aire desde las áreas de menor clasificación. Se dispondrá de un sistema de alarma para fallas de gradiente de presión y de una esclusa de seguridad ventilada para la salida de material radiactivo. Se ubicará un visor en la pared para controlar la actividad dentro del área. Todas las superficies de esta área serán lisas y no porosas, techo sellado a 2.7 m de altura, sin ventanas. El piso será de resina de alto tránsito con perfiles sanitarios entre la pared-piso y pared-techo.

Esclusa de acceso al laboratorio caliente: el acceso a este laboratorio se realizará a través de una esclusa que proporciona la separación física de las diferentes etapas de cambio de vestimenta. Estará equipada con un espejo para que el personal pueda confirmar la correcta colocación del uniforme. Las puertas de entrada no se abrirán simultáneamente y estarán interbloqueadas.

Área de almacenamiento del material radiactivo: el material radiactivo, en este caso el generador de ⁶⁸Ga o los radiofármacos PET contenidos en un vial, se almacenarán dentro de la celda caliente que está diseñada para este propósito y que garantiza su esterilidad durante el tiempo de uso.

Laboratorio de control de calidad de radiofármacos: se emplearán las facilidades existentes en el Dpto. de Medicina Nuclear y deberá contar con los equipos necesarios para el control de calidad de los radiofármacos marcados con ⁶⁸Ga. El ensayo de endotoxina se realizará aplicando el test de LAL en una cabina de flujo

unidireccional y la prueba de esterilidad se contratará a un tercero cuando corresponda.

Locales de inyección y reposo (CR1, CR2, CR3, CR4): en estos locales se realiza la administración del radiofármaco a los pacientes por vía intravenosa. Se dispondrá de cuatro locales independientes para cada paciente, adecuadamente blindados para reducir las exposiciones ocupacionales debidas al resto de los pacientes, y de un baño sanitario independiente para los pacientes. Cada cubículo posee un área de 2.15 x 2.15 m² y dispondrá de suministro de gases medicinales (oxígeno y vacío para aspiración). En cada local, los pacientes permanecerán en reposo aproximadamente 1 hora posterior a la inyección. Cuando concluya la exploración, los pacientes regresarán a su cubículo donde permanecerán hasta que su estudio se haya verificado por el personal especializado. Los pacientes se retirarán por la puerta trasera del centro en dirección al pasillo interior que conduce a la galería de la planta baja de la Sección D por donde abandonarán la institución. Se mantendrá control visual de los pacientes mediante un sistema de cámaras de televisión.

Local para medición de actividad residual (local MAR): en este local se realizará la medición de actividad residual después de la administración del radiofármaco a cada paciente. Dispondrá de un activímetro y dos cestos adecuadamente blindados para la recolección de los desechos radiactivos generados durante la administración de los radiofármacos PET. Tendrá un área de 2.15 x 1.7 m².

Local del PET/CT: en él se instalará el tomógrafo PET/CT. Tendrá un área de 8 x 6 m².

Local de control: se ubicarán las computadoras que controlan el funcionamiento del PET/CT. Tiene acceso al local del PET/CT a través de una puerta y posee un visor a través del cual se mantiene control visual del paciente durante la adquisición de las imágenes.

Local de desechos: se utilizará esta facilidad existente en el Servicio de Medicina Nuclear. Se empleará un carro de ruedas adecuadamente blindado para el transporte de los desechos radiactivos para su almacenamiento temporal hasta que por decaimiento radiactivo se puedan eliminar como basura común. Los desechos se evacuarán a través de la puerta trasera hacia la galería de la planta baja de la Sección D.

La ubicación y disposición de los diferentes locales dentro de la instalación tendrá en cuenta las tareas que se realicen en orden lógico y adecuado a la secuencia operacional de acuerdo con los flujos de trabajo previstos.

Sistema de ventilación

El sistema de ventilación se deberá diseñar para satisfacer los requerimientos establecidos en la Resolución 40/2011 del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), que regula la práctica de la Medicina Nuclear en Cuba. El sistema de ventilación deberá garantizar una temperatura en el local del PET/CT y en el local de control entre 15 °C y 24 °C, con un gradiente de temperatura no mayor a 3 °C por hora y

una humedad relativa en el intervalo de 30 % a 60 % [3]. Para el resto de los locales el sistema de clima deberá garantizar una temperatura confort entre 22 °C y 24 °C.

El laboratorio caliente por ser un área limpia grado D dispondrá de una manejadora de aire independiente con filtros terminales HEPA en la entrada para garantizar la inyección de aire limpio al local con salida a través de filtros descontaminantes. Esta manejadora garantiza 20 cambios de aire por hora. La velocidad terminal de entrada de aire limpio estará entre 0.15-0.45 m/s. La entrada de aire se realizará por el techo, mientras que el retorno se realizará por la pared a 30 cm del piso. El sistema de clima renovará el 100 % del volumen de aire del local. Durante la operación del centro no se producirán, ni se utilizarán aerosoles radiactivos, luego no será necesario realizar descontaminación por filtrado del aire extraído de los locales. La salida de la extracción de aire de la celda caliente y del sistema de extracción de la instalación se deberá colocar en la azotea del edificio a un metro por encima de la estructura de mayor altura. El sistema de clima de este local garantizará una temperatura entre 18 °C y 20 °C y una humedad relativa entre 50 % y 60 %.

Sistema hidrosanitario

De acuerdo con la Resolución 40/2011 de CITMA [4], los líquidos vertidos al sistema hidrosanitario no necesitan tratamiento especial, pudiéndose liberar los residuos biológicos de los pacientes inyectados a la red sanitaria común.

Flujo de pacientes, material radiactivo y personal

El diseño de la instalación debe garantizar que el flujo de pacientes del material radiactivo y del personal se pueda organizar de tal manera que cumplan las siguientes recomendaciones [1]:

1. Entrada y salida independiente de pacientes para evitar interferencia en el flujo del personal de trabajo con otros pacientes o miembros del público dentro de la instalación.
2. Acceso fácil e independiente para la recepción de los radiofármacos PET en el laboratorio caliente.

Cálculo de blindajes para PET

Para el cálculo de los blindajes estructurales se empleó la metodología descrita en el Reporte 108 “PET and PET/CT shielding requirements” de la Asociación Americana de Física Médica [5] y los factores de ocupación reportados en la NCRP-147 “Structural shielding design for medical imaging X-ray facilities” [6], teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Se consideró como promedio que la actividad a administrar por paciente A_0 será de 370 MBq de ^{18}F .
2. La carga de trabajo máxima N_w se estimó en 80 pacientes por semana.
3. El tiempo promedio de captación del radiofármaco por paciente antes de la exploración PET/CT t_u en el local de inyección y reposo se estimó en 1 h.

4. El tiempo de estudio promedio de exploración PET/CT por paciente t_l se estimó en 20 min.
5. El tiempo de permanencia promedio de los pacientes t_p en el local de inyección y reposo después de la exploración PET/CT se estimó en 10 min.
6. La constante de tasa de dosis de un paciente posterior a la administración del radiofármaco fue de $0.092 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ [3].
7. En los cálculos se tuvieron en cuenta las restricciones de dosis vigentes en el país para la práctica de la Medicina Nuclear: 6.0 mSv/año para trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE) y 0.2 mSv/año para miembros del público (Resolución 40/2011) [4].
8. Los puntos seleccionados donde se estimaron las dosis se corresponden con las dosis máximas esperadas teniendo en cuenta la ubicación de las fuentes en la instalación. Estos puntos se muestran en la figura 2.
9. Los cálculos se realizaron tomando como base la densidad correspondiente al hormigón: 2.35 g/cm^3 .
10. En los cálculos se consideraron 50 semanas laborales al año.

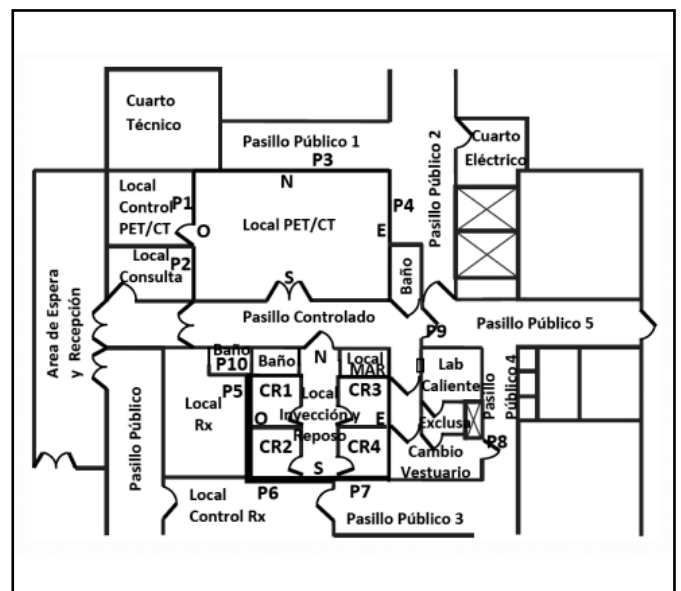


Figura 2. Diagrama del centro PET/CT del INOR.

Teniendo en cuenta que la tasa de dosis promedio del paciente inmediatamente después de la administración de actividad es de $0.092 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ y que aproximadamente el 15 % de la actividad administrada a paciente se elimina por excreción urinaria antes de la exploración PET/CT, lo que produce una reducción en la tasa de dosis del 85 %, se calculó la dosis semanal D_{PET} en μSv a una distancia d desde una fuente (paciente) ubicada en el tomógrafo PET/CT de acuerdo con la siguiente expresión [3]:

$$D_{PET} = \frac{0.092 \times N_w \times A_0 \times 0.85 \times F_u \times t_l \times R_{t_l}}{d^2} \quad (1)$$

donde N_w es la cantidad máxima de pacientes por semana, A_0 es la actividad administrada en MBq, F_u es

el factor de decaimiento durante tiempo de captación, t_i es el tiempo de duración de la exploración PET/CT en horas y R_{t_i} es el factor de reducción de dosis durante el tiempo t_i

La dosis semanal D_{CR}^{AE} en μSv , a una distancia d_i desde cada paciente ubicado en cada uno de los locales de inyección y reposo (4 en total) durante el tiempo de captación del radiofármaco antes de la exploración PET/CT, se calculó como [3]:

$$D_{CR}^{AE} = \sum_{i=1}^4 \frac{0.092 \times A_0 \times 0.25N_w \times t_u \times R_{t_u}}{d_i^2} \quad (2)$$

donde t_u es el tiempo promedio de captación del radiofármaco antes de la exploración PET/CT en horas, R_{t_u} es el factor de reducción de dosis durante el tiempo t_u .

Posterior a la exploración, debido al tiempo transcurrido desde la administración hasta que finaliza la exploración PET/CT, la actividad del paciente decae en $F_p = e^{-\frac{0.693(t_u+t_j)}{1.833}}$. Debido a que los pacientes regresan al mismo local de inyección y reposo hasta que sus imágenes sean evaluadas por el personal especializado, es necesario calcular la dosis semanal D_{CR}^{DE} en μSv después de la exploración PET/CT:

$$D_{CR}^{DE} = \sum_{i=1}^4 \frac{0.092 \times A_0 \times 0.25N_w \times F_p \times t_p \times R_{t_p}}{d_i^2} \quad (3)$$

donde t_p es el tiempo promedio de permanencia del paciente en el local de inyección y reposo posterior a la exploración PET/CT en horas y R_{t_p} es el factor de reducción de dosis durante el tiempo t_p .

La dosis semanal total D_T en μSv se determinó como:

$$D_T = D_{PET} + D_{CR}^{AE} + D_{CR}^{DE} \quad (4)$$

Finalmente el factor de transmisión B se determina mediante la expresión siguiente:

$$B = \frac{P}{T \times D_T} \quad (5)$$

donde P es límite de restricción de dosis semanal en μSv y T es el factor de ocupación.

Conocido el factor de transmisión, se determina el espesor de barrera de hormigón X en cm como sigue [3]:

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left[\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right] \quad (6)$$

donde $\alpha = 0.1539 \text{ cm}^{-1}$, $\beta = -0.1161 \text{ cm}^{-1}$ y $\gamma = 2.0752$

Resultados

La figura 2 muestra la ubicación de los diferentes locales del centro PET/CT teniendo en cuenta las consideraciones de diseño mencionadas. La figura 3 muestra el flujo de pacientes, del material radiactivo y del personal dentro de la instalación. Como se aprecia el diseño

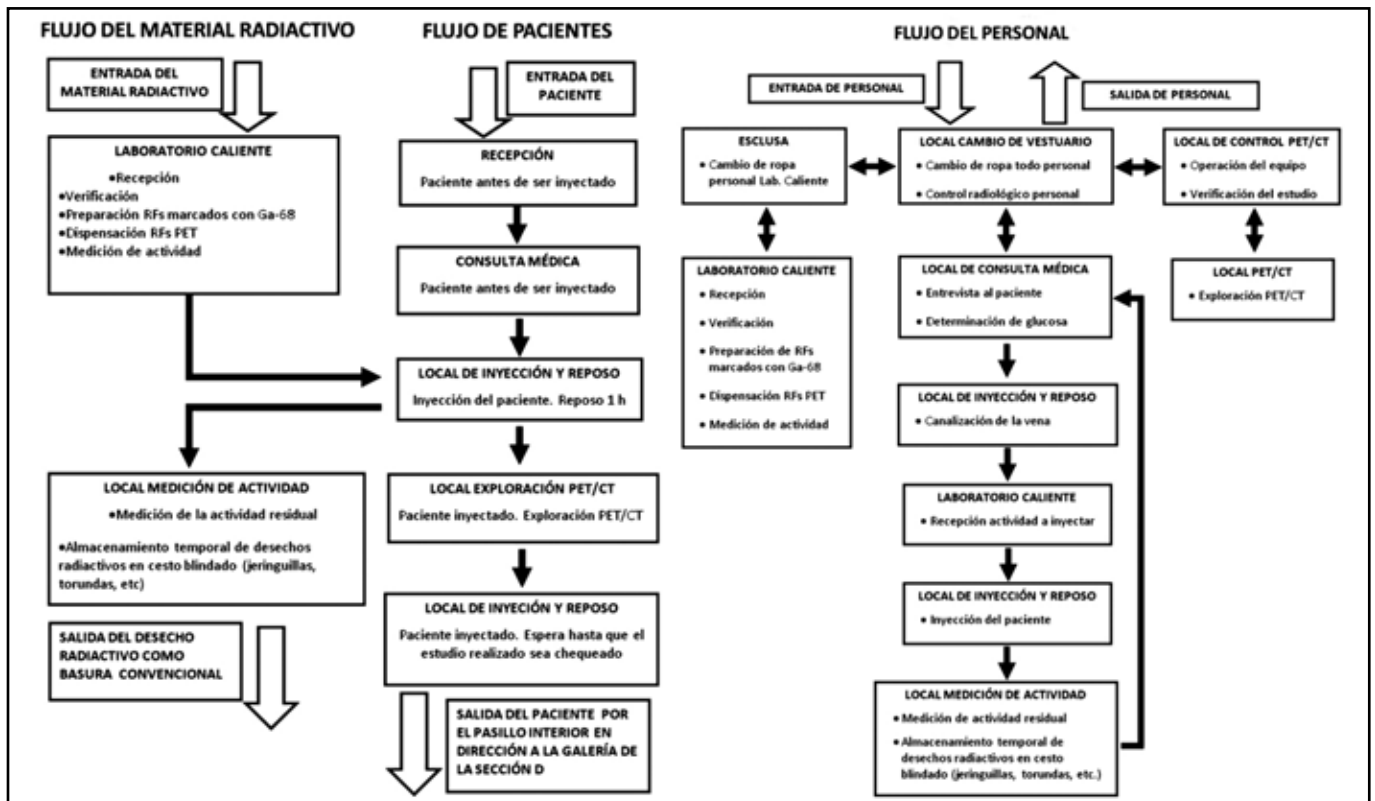


Figura 3. Flujo del material radiactivo de pacientes y del personal dentro de la instalación.

y el flujo tecnológico propuesto satisfacen los requerimientos funcionales recomendados para esta práctica.

La tabla 1 muestra los resultados de los cálculos de la tasa de dosis semanal y los factores de transmisión

Tabla 1. Tasa de dosis semanal y factores de transmisión calculados para los locales de inyección y reposo (CR) y para el local del PET/CT

| Punto | Local | Distancia (m) | | | | | Restricción Dosis ($\mu\text{Sv/sem}$) | Factor de Ocupación | Dosis CR ($\mu\text{Sv/sem}$) | | Dosis PET ($\mu\text{Sv/sem}$) | Dosis Total ($\mu\text{Sv/sem}$) | Factor de transmisión | Barrera (cm) |
|-------|--------------------|---------------|-------|------|------|------|--|---------------------|---------------------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------|
| | | CR1 | CR2 | CR3 | CR4 | PET | | | Antes Examen | Después Examen | | | | |
| | | 9.20 | 11.3 | 11.1 | 12.9 | 5.60 | 120 | 1 | 19.19 | 1.92 | 15.82 | 36.93 | > 1 | 0 |
| 2 | Local de consulta | 6.70 | 8.80 | 9.10 | 10.7 | 6.30 | 120 | 1 | 31.57 | 3.15 | 12.66 | 47.38 | > 1 | 0 |
| 3 | Pasillo público 1 | 10.90 | 13.30 | 10.9 | 13.3 | 2.50 | 4 | 0.2 | 15.93 | 1.59 | 79.40 | 96.92 | 0.2063 | 15 |
| 4 | Pasillo público 2 | 9.80 | 11.90 | 8.50 | 10.8 | 3.50 | 4 | 0.2 | 22.66 | 2.26 | 40.51 | 65.44 | 0.3056 | 12 |
| 5 | Local Rx | 1.90 | 3.00 | 5.30 | 5.80 | - | 4 | 1 | 256.16 | 25.57 | - | 281.72 | 0.0142 | 32 |
| 6 | Local control Rx | 4.60 | 2.25 | 5.70 | 4.10 | - | 4 | 1 | 190.20 | 18.98 | - | 209.18 | 0.0191 | 30 |
| 7 | Pasillo público 3 | 5.70 | 4.10 | 4.60 | 2.25 | - | 4 | 0.2 | 190.20 | 18.98 | - | 209.18 | 0.0956 | 20 |
| 8 | Pasillo público 4 | 9.00 | 8.70 | 5.80 | 5.30 | - | 4 | 0.2 | 51.52 | 5.14 | - | 56.66 | 0.3530 | 11 |
| 9 | Pasillo público 5 | 6.70 | 7.90 | 3.80 | 5.60 | 7.30 | 4 | 0.2 | 80.88 | 9.36 | 8.07 | 98.31 | 0.2034 | 15 |
| 10 | Baño público Rx | 2.00 | 3.80 | 5.20 | 6.10 | 7.70 | 4 | 0.05 | 212.12 | 22.17 | 8.29 | 252.57 | 0.31674 | 12 |
| 11 | Planta alta PET/CT | - | - | - | - | 4.30 | 4 | 1 | - | - | 26.84 | 26.84 | 0.1490 | 17 |
| 12 | Planta alta CR | 4.30 | 4.90 | 5.50 | 6.00 | - | 4 | 1 | 89.08 | 8.89 | - | 97.97 | 0.0408 | 25 |

correspondientes, obtenidos para los fotones de 511 keV en diferentes puntos de interés.

De acuerdo con estos resultados, los requerimientos de blindaje estructural de las paredes para el local de inyección y reposo y el local del tomógrafo PET/CT se muestran en la tabla 2. Según estos datos, los locales de inyección y reposo y del PET/CT requieren de una placa de 25 cm y 17 cm de espesor respectivamente. Teniendo en cuenta que la placa existente en el piso superior de estos locales se construyó con losas spiroll, cuyo espesor efectivo es de 5 cm de hormigón, será necesario construir una barrera de 20 cm y 12 cm de espesor respectivamente.

Tabla 2. Requerimientos de blindajes estructurales del centro PET/CT del INOR en cm de hormigón

| Pared | Local de inyección y reposo | Local PET/CT |
|-------------|-----------------------------|--------------|
| N | 12 | 15 |
| S | 30/20 | 0 |
| E | 15 | 12 |
| O | 32 | 0 |
| Planta alta | 25 | 17 |

Por otro lado, teniendo en cuenta que las paredes del local del PET/CT tienen un espesor de hormigón superior al requerido y que además estaban blindadas con 3 mm de espesor de Pb, no será necesario construir barreras adicionales en este local.

En el laboratorio caliente todas las manipulaciones de actividad se realizarán dentro de la celda caliente que posee una barrera de 50 mm de espesor con un factor de transmisión de 5×10^{-4} [3], que resulta suficiente para los niveles de actividad que se manipularán dentro de la celda. Por esta razón no se justifica la construcción de barreras estructurales adicionales para este local.

A partir de las consideraciones anteriores, la tabla 3 muestra las barreras que se deben construir para satisfacer los niveles de restricción de dosis vigentes para los trabajadores ocupacionalmente expuestos y para los miembros del público.

Tabla 2. Requerimientos de blindajes estructurales del centro PET/CT del INOR en cm de hormigón

| Pared | Local de inyección y reposo | Local PET/CT | Laboratorio caliente |
|-------------|-----------------------------|--------------|----------------------|
| N | 12 | 0 | 0 |
| S | 30/20 | 0 | 0 |
| E | 15 | 0 | 0 |
| O | 32 | 0 | 0 |
| Planta alta | 20 | 12 | 0 |

Discusión

El diseño de la instalación del centro PET/CT del INOR se elaboró sobre la base de la arquitectura de locales existentes en el Departamento de Imagenología,

que se modificaron para adecuarlos a los requerimientos funcionales y de seguridad radiológica y biológica establecidos como resultado de la experiencia internacional existente [1-3] y la Resolución 40/2011 del Centro Nacional de Seguridad Nuclear [4]. El diseño propuesto garantiza el flujo independiente de pacientes y del material radiactivo en correspondencia con lo recomendado para esta práctica.

Los desechos radiactivos se almacenarán en cestos adecuadamente blindados en el local para la medición de actividad residual, y su evacuación al exterior se producirá por la puerta trasera de la instalación, sin que sea necesario pasar por ninguno de los locales existentes. Usualmente se considera que los desechos generados en el trabajo de rutina en instalaciones con similar carga de trabajo se pueden tratar como desecho común no radiactivo trascurridas 24 horas después de su generación.

El diseño del sistema de ventilación garantiza un tratamiento del flujo de aire en correspondencia con las regulaciones vigentes en el país según la Resolución 40/2011 [4] y las recomendaciones para la preparación de radiofármacos a pequeña escala en condiciones de Buenas Prácticas de Manufactura [2].

Los cálculos de blindaje estructurales están en correspondencia con la límites de restricción de dosis vigentes para los TOE y miembros del público.

Conclusión

El diseño del centro PET/CT del INOR satisface los estándares funcionales y de seguridad radiológica para la carga de trabajo planificada en la instalación, así como los estándares recomendados para la preparación de radiofármacos a pequeña escala en condiciones de Buenas Prácticas de Manufactura.

Referencias

- [1] IAEA. Planning a clinical PET centre. IAEA Human IAEA Health Series 11. Vienna: IAEA, 2010.
- [2] ELSINGA P, TODDE S, PENUÉLAS I, et. al. Guidance on current good radiopharmacy practice (cGRPP) for small-scale preparation of radiopharmaceuticals. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010; 37(5): 1049-1062.
- [3] Gemini TF PET/CT. System Planning Data. Philips Medical System, 2012.
- [4] CNSN. Guía de seguridad para la práctica de la medicina nuclear. Resolución 40. La Habana: CNSN, 2011.
- [5] MADSEN MT, ANDERSON JA, KLECK J, et. al. AAPM Task Group 108: PET and PET/CT shielding requirements. *Med Phys*. 2006; 33(1): 4-15.
- [6] NCRP. Structural shielding design for medical X-Ray imaging facilities. NCRP Report No. 147. 2004. ISBN 0-929600-83-5.

Recibido: 16 de diciembre de 2014

Aceptado: 23 de abril de 2015