



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOFÍSICA

**“VALIDACIÓN DE LOS BLINDAJES ESTRUCTURALES DE LAS
ZONAS CONTROLADAS EN EL ÁREA DE DIAGNÓSTICO Y
PRODUCCIÓN DE RADIOFÁRMACOS EN LA UNIDAD TÉCNICA
PET CICLOTRÓN DEL HOSPITAL DE ESPECIALIDADES
CARLOS ANDRADE MARÍN”**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR:

MARLON STEVEN ARGUELLO ALBIÑO

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOFÍSICA

**“VALIDACIÓN DE LOS BLINDAJES ESTRUCTURALES DE LAS
ZONAS CONTROLADAS EN EL ÁREA DE DIAGNÓSTICO Y
PRODUCCIÓN DE RADIOFÁRMACOS EN LA UNIDAD TÉCNICA
PET CICLOTRÓN DEL HOSPITAL DE ESPECIALIDADES
CARLOS ANDRADE MARÍN”**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR: MARLON STEVEN ARGUELLO ALBIÑO

DIRECTOR: Biof. MIGUEL ÁNGEL SÁEZ PAGUAY

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Marlon Steven Arguello Albiño

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **Marlon Steven Arguello Albiño**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 02 de marzo del 2021

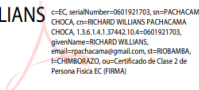

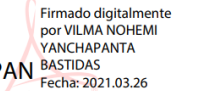
A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Marlon Steven Arguello Albiño

C.I: 085090261-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOFÍSICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación tipo experimental: **“Validación de los blindajes estructurales de las zonas controladas en el área de diagnóstico y producción de radiofármacos en la Unidad Técnica PET Ciclotrón del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín”**, de responsabilidad del señor **MARLON STEVEN ARGUELLO ALBIÑO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Richard Willians Pachacama Choca PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	RICHARD WILLIANS PACHACAMA CHOCA  <small>c-EC, serialNumber=9601921703, ou=PACHACAMA CHOCA, ou=9601921703, ou=PACHACAMA CHOCA, 1.3.6.1.4.1.3742.10.4.0601921703, givenName=RICHARD WILLIANS, email=pachacama@gmail.com, st=ROBAMBA, st=CHIMBORAZO, ou=Certificado de Clase 2 de Persona Física EC (PRMA)</small>	2021/03/02
Biof. Miguel Ángel Sáez Paguay DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	MIGUEL ANGEL SAEZ PAGUAY  <small>Firmado digitalmente por MIGUEL ANGEL SAEZ PAGUAY Nombre de reconocimiento (DN): c-EC, ou=SECURITY DATA S.A., ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, serialNumber=030720160193, cn=MIGUEL ANGEL SAEZ PAGUAY Fecha: 2021.03.26 13:49:52 -05'00'</small>	2021/03/02
Biof. Mg. Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas MIEMBRO DEL TRIBUNAL	VILMA NOHEMI YANCHAPAN TA BASTIDAS  <small>Firmado digitalmente por VILMA NOHEMI YANCHAPAN TA BASTIDAS Fecha: 2021.03.26 15:44:12 -05'00'</small>	2021/03/02

DEDICATORIA

Este sueño ha requerido de grandes esfuerzos y sacrificios, principalmente por el hecho de separarme de mi familia para comenzar a construir mi vida profesional, nada de esto sería posible sin el apoyo de muchas personas importantes en mi vida. Por aquello dedico con muchísimo cariño este trabajo de titulación a mis padres, Yoffre Arguello e Isabel Albiño, personas pilares en mi vida que me han apoyado sin importar las circunstancias en cada paso que doy, a mis abuelos maternos, Enrique y Albina, por su amor de segundos padres y consejos sabios que me han guiado hacia el camino del éxito, a mi hermano Jeanpierre, a mi pareja.

A mi familia en general y amigos por sus ánimos de perseverancia y constancia para lograr culminar mi carrera.

Arguello Albiño Marlon.

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a mis padres y mis abuelitos maternos por el apoyo incondicional en la formación de mi vida profesional, su cariño, amor y consejos han sido de vital importancia para cada paso firme que eh dado en el transcurso de todo este camino.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, especialmente la Facultad de Ciencias por abrirme sus puertas y permitirme adquirir conocimientos y experiencias necesarias para mi desempeño en el ámbito laboral, así también a los docentes de la carrera de Biofísica por sus enseñanzas y sus ánimos para alcanzar esta meta.

A mi tutor Universitario, Biof. Miguel Sáez por su ayuda y guía para la elaboración de la investigación.

Al Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, especialmente a la Unidad Técnica PET Ciclotrón, por permitirme realizar este trabajo de titulación y brindarme todos los implementos necesarios para llevarla a cabo.

A mi tutor empresarial, Biof. Alexander Urquizo, por su enseñanza, sus constantes revisiones y correcciones para lograr la elaboración y culminación del presente trabajo.

A mis amigos, Alexander, Josselyne, Sandy, Augusto, Fernanda, Alejandra, Gabriel y Joselyn, por brindarme su amistad y con cada “ocurrencia” olvidar algún tipo de problema y permitirme tener una vida alegre en una ciudad desconocida para mí.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Justificación.....	3
Objetivos.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. Medicina Nuclear.....	5
1.2. Radiofármacos.....	5
1.2.1. <i>Radiofármaco emisor de positrones: 18F-FDG.....</i>	<i>5</i>
1.3. Emisión de positrones y aniquilación de pares.....	6
1.3.1. <i>Transformación beta positivo</i>	<i>6</i>
1.3.2. <i>Interacción positrón – materia.....</i>	<i>6</i>
1.3.3. <i>Alcance y aniquilación del positrón.....</i>	<i>7</i>
1.4. Equipo de detección: PET/CT.....	7
1.5. Detectores en medicina nuclear	8
1.5.1. Detectores de ionización gaseosa	8
1.5.1.1. <i>Cámara de ionización.....</i>	<i>9</i>
1.5.1.2. <i>Contador Geiger - Müller.....</i>	<i>10</i>
1.5.2. Dosimetría Ambiental.....	11

1.6.	Categorización de Zonas de Exposición Radiológica.....	12
<i>1.6.1.</i>	<i>Zona controlada.....</i>	<i>12</i>
<i>1.6.2.</i>	<i>Área Supervisada.....</i>	<i>12</i>
1.7.	Nivel de dosis en áreas controladas.....	12
<i>1.7.1.</i>	<i>Dosis de las inyecciones del paciente.....</i>	<i>12</i>
<i>1.7.2.</i>	<i>Dosis según la posición del paciente.....</i>	<i>12</i>
<i>1.7.3.</i>	<i>Dosis de imágenes del paciente.....</i>	<i>13</i>
1.8.	Habitaciones adyacentes al mismo nivel en áreas controladas.....	13
1.9.	Consideraciones de diseño: PET / CT.....	13
<i>1.9.1.</i>	<i>Blindaje.....</i>	<i>13</i>
1.10.	Límites de dosis a nivel Nacional e Internacional.....	14
1.11.	Protocolos e investigaciones para cálculo de blindaje y levantamiento radiométrico en Medicina Nuclear Molecular.....	15
<i>1.11.1.</i>	<i>PET and PET/CT Shielding Requirements (Task Group – 108, AAPM).....</i>	<i>15</i>
<i>1.11.2.</i>	<i>Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities (NCRP – 147).....</i>	<i>15</i>
<i>1.11.3.</i>	<i>“Shielding Calculation for Nuclear Medicine Services” (Universidad de Colombia).....</i>	<i>16</i>
<i>1.11.4.</i>	<i>"Principle of Radiological Shielding of Medical Cyclotrons".....</i>	<i>16</i>
<i>1.11.5.</i>	<i>"Radiation Shielding Design for Medical Cyclotron".....</i>	<i>16</i>
<i>1.11.6.</i>	<i>Protocolo de control de calidad en radiodiagnóstico (ARCAL XLIX).....</i>	<i>16</i>
<i>1.11.7.</i>	<i>Protocolo para la evaluación de puestos de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes asociadas al uso médico de equipos de rayos x convencionales (ISPCH).....</i>	<i>16</i>
1.12.	Consideraciones para el cálculo de blindaje y levantamiento radiométrico: Medicina Nuclear Molecular.....	17
<i>1.12.1.</i>	<i>Radiación primaria.....</i>	<i>17</i>
<i>1.12.2.</i>	<i>Radiación secundaria.....</i>	<i>17</i>

<i>1.12.3. Radiación de fuga</i>	17
<i>1.12.4. Barreras primarias</i>	17
<i>1.12.5. Barreras secundarias</i>	18
<i>1.12.6. Distancia al área ocupada</i>	18
<i>1.12.7. Carga de trabajo</i>	19
<i>1.12.8. Factor de uso</i>	19
<i>1.12.9. Factor de ocupación</i>	19
<i>1.12.10. Factor de transmisión</i>	20
<i>1.12.11. Constante de tasa de dosis del Flúor-18</i>	20
<i>1.12.12. Parámetros de ajuste para datos de transmisión de haz ancho de 511KeV</i>	21
<i>1.12.13. Restricción de dosis (Objetivo de Blindaje)</i>	21

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	21
2.1. Tipo de Investigación	21
2.2. Población de estudio	22
<i>2.2.1. Área de diagnóstico</i>	22
<i>2.2.2. Área de producción de radiofármacos</i>	22
2.3. Equipos, Materiales y Métodos	22
<i>2.3.1. Equipos</i>	22
<i>2.3.2. Materiales</i>	24
<i>2.3.3. Métodos</i>	24
<i>2.3.3.1. Cálculo de Blindaje</i>	24
<i>2.3.3.2. Levantamiento radiométrico</i>	26
<i>2.3.3.3. Planos de la instalación</i>	27
2.4. Diseño y experimentación	30
<i>2.4.1. Cálculo de blindaje</i>	30
<i>2.4.1.1. Cuartos de inyección</i>	31

2.4.1.2. Sala PEM	32
2.4.1.3. Baños N°1	33
2.4.1.4. Baño N°2	33
2.4.1.5. Sala PET/CT	34
2.4.1.6. Cuarto caliente	35
2.4.1.7. Ciclotrón	35
2.4.1.8. Laboratorio de Radiofarmacia	36
2.4.1.9. Laboratorio de control de calidad	37
2.4.2. Levantamiento radiométrico	37
2.4.2.1. Cuartos de inyección	37
2.4.2.2. Sala de equipo PEM	38
2.4.2.3. Baños de pacientes radiactivos	38
2.4.2.4. Sala de equipo PET/CT	39
2.4.2.5. Cuarto caliente	40
2.4.2.6. Ciclotrón	40
2.4.2.7. Laboratorio de radiofarmacia	40
2.4.2.8. Laboratorio de control de calidad	40
2.5. Procedimiento experimental	41
2.5.1. Ecuaciones y cálculo para blindaje	41
2.5.2. Ecuaciones y cálculo, para levantamiento radiométrico	44
2.5.3. Cálculos de blindajes	47
2.5.3.1. Cuarto de inyección N°1	47
2.5.3.2. Cuarto de inyección N°2	50
2.5.3.3. Cuarto de inyección N°3	53
2.5.3.4. Sala PEM	56
2.5.3.5. Baño N°1	57
2.5.3.6. Baño N°2	59
2.5.3.7. Sala PET/CT	61
2.5.3.8. Cuarto caliente	63
2.5.3.9. Ciclotrón	66
2.5.3.10. Laboratorio de Radiofarmacia	69
2.5.3.11. Laboratorio de control de calidad	71

2.5.4. Levantamiento radiométrico	74
2.5.4.1. Cuarto de inyección N°1	74
2.5.4.2. Cuarto de inyección N°2	75
2.5.4.3. Cuarto de inyección N°3	76
2.5.4.4. Sala PEM	77
2.5.4.5. Baño N°1	78
2.5.4.6. Baño N°2	79
2.5.4.7. Sala PET/CT	80
2.5.4.8. Cuarto caliente	83
2.5.4.9. Ciclotrón	84
2.5.4.10. Laboratorio de Radiofarmacia	86
2.5.4.11. Laboratorio de control de calidad	88

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	90
3.1. Cálculo de blindaje	90
3.2. Levantamiento radiométrico	95

CONCLUSIONES	102
---------------------------	------------

RECOMENDACIONES	103
------------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Dosis máxima permitida para irradiación externa.....	14
Tabla 2-1:	Límites de dosis en situaciones de exposición planificadas.....	15
Tabla 3-1:	Valores de factor de uso para piso, techo y paredes.....	19
Tabla 4-1:	Valores de factor de ocupación.....	20
Tabla 5-1:	Parámetros de ajustes.....	21
Tabla 6-1:	Valores de restricción de dosis para áreas controladas y no controladas.....	21
Tabla 1-2:	Especificaciones técnicas del Equipo PET/CT.....	22
Tabla 2-2:	Especificaciones técnicas del Equipo PEM.....	23
Tabla 3-2:	Especificaciones técnicas del Ciclotrón.....	23
Tabla 4-2:	Especificaciones técnicas del detector.....	23
Tabla 5-2:	Especificaciones técnicas de la cámara de ionización.....	24
Tabla 6-2:	Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto de inyección N°1.....	31
Tabla 7-2:	Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto de inyección N°2.....	31
Tabla 8-2:	Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto de inyección N°3.....	32
Tabla 9-2:	Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto de equipo PEM.....	32
Tabla 10-2:	Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del baño de pacientes radiactivos N°1.....	33
Tabla 11-2:	Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del baño de pacientes radiactivos N°2.....	33
Tabla 12-2:	Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto PET/CT.....	34
Tabla 13-2:	Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto caliente.....	35

Tabla 14-2:	Distancias desde la fuente hacia las paredes externas del ciclotrón.....	35
Tabla 15-2:	Distancias desde la fuente hacia las paredes externas del laboratorio de radiofarmacia.....	36
Tabla 16-2:	Distancias desde la fuente hacia las paredes externas del laboratorio de control de calidad.....	37
Tabla 17-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos en el cuarto de inyección N°1.....	38
Tabla 18-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos en el cuarto de inyección N°2.....	38
Tabla 19-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos en el cuarto de inyección N°3.....	38
Tabla 20-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos en el cuarto PEM.....	38
Tabla 21-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos en el baño N°1.....	39
Tabla 22-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos en el baño N°2.....	39
Tabla 23-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos para PET.....	39
Tabla 24-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos para CT.....	39
Tabla 25-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos en el cuarto caliente.....	40
Tabla 26-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos en el ciclotrón.....	40
Tabla 27-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos en el laboratorio de radiofarmacia.....	40
Tabla 28-2:	Valores máximos de tasa de dosis medidos en el laboratorio de control de calidad.....	41
Tabla 1-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto de inyección N°1.....	90
Tabla 2-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto de inyección N°2.....	90
Tabla 3-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto de inyección N°3.....	91

Tabla 4-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto PEM.....	91
Tabla 5-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del baño N°1.....	92
Tabla 6-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del baño N°2.....	92
Tabla 7-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto PET/CT.....	93
Tabla 8-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto caliente.....	93
Tabla 9-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del ciclotrón.....	94
Tabla 10-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del laboratorio de radiofarmacia.....	94
Tabla 11-3:	Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del laboratorio de control de calidad.....	95
Tabla 12-3:	Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto de inyección N°1.....	95
Tabla 13-3:	Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto de inyección N°2.....	96
Tabla 14-3:	Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto de inyección N°3.....	96
Tabla 15-3:	Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto de diagnóstico PEM.....	97
Tabla 16-3:	Validación del blindaje estructural en todas las barreras del baño N°1 de pacientes radiactivos.....	98
Tabla 17-3:	Validación del blindaje estructural en todas las barreras del baño N°2 de pacientes radiactivos.....	98
Tabla 18-3:	Validación del blindaje estructural en todas las barreras de la sala de equipo PET/CT.....	99

Tabla 19-3: Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto caliente.....	99
Tabla 20-3: Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto de ciclotrón.....	100
Tabla 21-3: Validación del blindaje estructural en todas las barreras del laboratorio de radiofarmacia.....	100
Tabla 22-3: Validación del blindaje estructural en todas las barreras del laboratorio de control de calidad.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Transformación beta positivo del ^{18}F	6
Figura 2-1:	Emisión de dos fotones de 511KeV.....	7
Figura 3-1:	Equipo híbrido de tomografía computarizada y PET (PET/CT).....	8
Figura 4-1:	Principio físico de los detectores gaseosos.....	9
Figura 5-1:	Tensión vs Amplitud de impulso en detectores tipo gaseoso.....	9
Figura 6-1:	Cámara de ionización Ludlum 9DP-1.....	10
Figura 7-1:	Zona plateau del contador proporcional.....	11
Figura 8-1:	Detector Ambiental modelo RadEye B20-ER.....	11
Figura 9-1:	Técnicas de minimización de la exposición.....	14
Figura 10-1:	Barreras primarias y barreras secundarias.....	18
Figura 1-2:	Plano General de la Unidad Técnica PET Ciclotrón.....	28
Figura 2-2:	Plano del área de diagnóstico de la Unidad Técnica PET Ciclotrón.....	29
Figura 3-2:	Plano del área de producción de radiofármacos de la Unidad Técnica PET Ciclotrón.....	30

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Valores de tasa de dosis del punto A
- ANEXO B:** Valores de tasa de dosis del punto B
- ANEXO C:** Valores de tasa de dosis del punto C
- ANEXO D:** Valores de tasa de dosis en punto D
- ANEXO E:** Valores de tasa de dosis tomado en punto E.
- ANEXO F:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto G
- ANEXO G:** Valores de tasa de dosis tomado en punto H
- ANEXO H:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto I
- ANEXO I:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto J
- ANEXO J:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto K
- ANEXO K:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto M
- ANEXO L:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto N
- ANEXO M:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto O
- ANEXO N:** Valores de tasa de dosis tomado en punto P
- ANEXO O:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto Q.
- ANEXO P:** Valores de tasa de dosis tomado en terraza de los cuartos de inyección
- ANEXO Q:** Valores de tasa de dosis tomado en punto S
- ANEXO R:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto T
- ANEXO S:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto U
- ANEXO T:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto V
- ANEXO U:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto W
- ANEXO V:** Valores de tasa de dosis tomado en terraza
- ANEXO W:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto Y
- ANEXO X:** Valores de tasa de dosis tomado el punto Z

- ANEXO Y:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AB
- ANEXO Z:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AC
- ANEXO AB:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AE
- ANEXO AC:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AF
- ANEXO AD:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AG
- ANEXO AE:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AH
- ANEXO AF:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AI
- ANEXO AG:** Valores de tasa de dosis tomado en la terraza de los baños
- ANEXO AH:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AK para PET
- ANEXO AI:** Valores de tasa de dosis tomado en punto AL para PET
- ANEXO AJ:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AM para PET
- ANEXO AK:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AN para PET
- ANEXO AL:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AO para PET
- ANEXO AM:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AP para PET
- ANEXO AN:** Valores de tasa de dosis tomado en terraza para PET
- ANEXO AO:** Valores de tasa de dosis tomado las barreras durante CT
- ANEXO AP:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AR
- ANEXO AQ:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AS
- ANEXO AR:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AT.
- ANEXO AS:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AU
- ANEXO AT:** Valores de tasa de dosis tomado en punto AV.
- ANEXO AU:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AW.
- ANEXO AV:** Valores de tasa de dosis tomado en el punto AX
- ANEXO AW:** Valores de tasa de dosis tomado en las barreras del cuarto del ciclotrón
- ANEXO AX:** Valores de tasa de dosis tomado en las barreras del laboratorio de radiofarmacia

ANEXO AY: Valores de tasa de dosis tomado en las barreras del laboratorio de control de calidad

ANEXO AZ: Puntos de intereses considerados en los cuartos de inyección

ANEXO BA: Puntos de intereses considerados en el cuarto PEM

ANEXO BC: Puntos de intereses considerados en los baños de pacientes radiactivos

ANEXO BD: Puntos de intereses considerados en el cuarto PET CT

ANEXO BE: Puntos de intereses considerados en el cuarto caliente

ANEXO BF: Puntos de intereses considerados en el ciclotrón

ANEXO BG: Puntos de intereses considerados en el laboratorio de radiofarmacia

ANEXO BH: Puntos de intereses considerados en el cuarto de control de calidad

ANEXO BI: Certificado de calibración del detector Geiger – Müller

ANEXO BJ: Certificado de calibración de la cámara de ionización

RESUMEN

El objetivo de este estudio es validar los blindajes estructurales en las áreas tanto de diagnóstico como de producción de radiofármacos de la Unidad Técnica PET Ciclotrón, por lo cual se tomaron varios puntos de interés para monitorizarlos y verificar con el cálculo de blindaje y levantamiento radiométrico el blindaje estructural. Se utilizó protocolos internacionales en conjunto con equipos detectores de radiación ionizante, en este caso se usó un detector Geiger - Müller, marca Thermo Scientific RadEye modelo G-10 y una cámara de ionización marca Ludlum modelo 9DP. Las ecuaciones empleadas tanto para el cálculo del blindaje y levantamiento radiométrico se adaptan a las consideraciones propias del estudio; se lo hizo de forma manual y través de plantillas en Excel. Los resultados muestran que todas las barreras de las salas de la Unidad Técnica PET Ciclotrón poseen valores que están dentro del rango de tolerancia tanto en el cálculo de blindaje como en el levantamiento radiométrico, las salas con mayor tasa de dosis son el cuarto caliente y sala PET/CT, y las salas con menor tasa de dosis son los cuartos PEM, laboratorio de radiofarmacia y control físico – químico, sin embargo garantizan la seguridad y protección radiológica del POE, pacientes y público dentro de la Unidad. Se concluye que todos los blindajes estructurales son seguros y no permiten que se superen las restricciones de dosis. Se recomienda en este estudio respetar las técnicas de minimización de dosis (distancia, tiempo y blindaje) especialmente cuando se transporta el material radiactivo y cuando los pacientes están inyectados.

Palabras claves: <BIOFÍSICA>, <POSITRONES>, <CÁLCULO DE BLINDAJE>, <LEVANTAMIENTO RADIOMÉTRICO>, <MEDICINA NUCLEAR MOLECULAR>, <PROTECCIÓN RADIOLÓGICA>, <RADIOFÁRMACO>, <FLUORODESOXIGLUCOSA>.



Firmado digitalmente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0916-DBRAI-UPT-2021

2021-04-01

ABSTRACT

The objective of this study is to validate the structural shielding in the diagnostic and radiopharmaceutical production areas of the PET Cyclotron Technical Unit, for which several points of interest were taken to monitor them and verify the structural shielding with the shielding calculation and radiometric survey. International protocols were used together with ionizing radiation detectors, in this case a Geiger - Müller detector, Thermo Scientific RadEye model G-10 and a Ludlum model 9DP ionization chamber were used. The equations used for both the shielding and radiometric survey calculations are adapted to the study's own considerations; this was done manually and through Excel templates. The results show that all the barriers of the rooms of the PET Cyclotron Technical Unit have values that are within the tolerance range both in the shielding calculation and in the radiometric survey, the rooms with the highest dose rate are the hot room and PET/CT room, and the rooms with the lowest dose rate are the PEM rooms, radiopharmacy laboratory and physical-chemical control, however, they guarantee the safety and radiological protection of the POE, patients and public within the Unit. It is concluded that all structural shielding is safe and does not allow dose restrictions to be exceeded. It is recommended in this study to respect dose minimization techniques (distance, time and shielding) especially when transporting radioactive material and when patients are injected.

Keywords: <BIOPHYSICS>, <POSITRONS>, <SHIELDING CALCULATION>, <RADIOMETRIC LIFTING>, <MOLECULAR NUCLEAR MEDICINE>, <RADIOLOGICAL PROTECTION>, <RADIOPHARMACOUS>, <FLUORODESOXYGLUCOSE>.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La Medicina Nuclear (MN), “es la especialidad que se ocupa del diagnóstico, tratamiento e investigación médica, mediante el uso de radioisótopos como fuentes abiertas” según la definición establecida en el año 1972 en Ginebra por la Organización Mundial de la Salud y la OIEA. Cuando son utilizados con un propósito diagnóstico, se aprovecha la propiedad emisora de los radioisótopos para detectarlos a distancia; cuando la intención es terapéutica, se usufructúa el efecto de detrimento que la radiación puede tener sobre un tejido, es por ello que se requiere el uso de materiales que atenúen la radiación por seguridad de las personas, uno de estos materiales es el blindaje, en especial, el blindaje estructural (Sanz, 2017).

En 2006, Gama Trejo estudió en México sobre un **“DISEÑO OPTIMIZADO DE BLINDAJES PARA RAYOS X DIAGNÓSTICO CON TÉCNICA NCRP 147”**. En la cual se presenta una comparación entre las técnicas de diseño de blindajes para salas de rayos x diagnóstico con la técnica del reporte NCRP 49 (1976), AAPM 39 (1993) y la del reporte NCRP 147 (2005). Los diseños corresponden a una sala de rayos x convencional, una de fluoroscopia, una de tomografía y una de mamografía. En todos los casos se demuestra que la técnica del NCRP 49 sobreestima los blindajes. Las causas de la sobreestimación del NCRP 49 se pueden atribuir a, altos valores de la carga de trabajo que no consideran, la fluencia espectral de los fotones que están presentes en cada sala, y a las diferencias en los valores del kerma en aire sin atenuación para la radiación primaria, dispersa y de fuga entre ambos reportes (Gama, 2006).

En 2013, Vilma Yanchapanta realiza un estudio de **“CÁLCULO DE BLINDAJE PARA EL ACELERADOR LINEAL MONOENERGÉTICO DEL INSTITUTO DE CÁNCER SOLCA-NÚCLEO DE LOJA”**, mismo que describe los fundamentos básicos de la física de las radiaciones, conceptos básicos de la estructura del Acelerador Lineal Clínico (LINAC) y los principales protocolos existentes para el cálculo de blindajes de fotones de alta energía con el objetivo de calcular el blindaje para el búnker que alojará al Acelerador Lineal Monoenergético de SOLCA NÚCLEO DE LOJA. Para el cálculo del espesor del blindaje de las paredes de la instalación con laberinto se utilizó las recomendaciones de los Organismos internacionales como la AAPM, CSN, OIEA y la NCRP en sus reportes N° 49,51, 151 (Yanchapanta, 2013).

En 2018, Mary Ganán llevó a cabo un estudio sobre: **“DISEÑO Y CÁLCULO DE BLINDAJES PARA ZONAS DE ALTO RIESGO RADIOLÓGICO EN LA UNIDAD DE MEDICINA NUCLEAR DEL HOSPITAL TEODORO MALDONADO CARBO, IESS - GUAYAQUIL”** aquel trabajo tiene como objetivo el diseño y cálculo del blindaje para una instalación SPECT-

CT, para ello se tuvo en cuenta las consideraciones técnicas de radioprotección aplicadas por Organismos internacionales: National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) de los Estados Unidos en sus recomendaciones No. 147 y 151, en los reportes The American Association of Physicists in Medicine (AAPM) en su reporte TG-108, el Consejo de Seguridad Nuclear de España (CSN 5.11) y por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA SRS-2/1) (Ganán, 2018).

En 2019, Cristian Vásconez, elaboró una investigación sobre ***VALIDACIÓN DEL BLINDAJE ESTRUCTURAL DE LAS SALAS DE RADIODIAGNÓSTICO E INTERVENCIONISMO DEL HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CARLOS ANDRADE MARÍN MEDIANTE LEVANTAMIENTO RADIOMÉTRICO BAJO EL PROTOCOLO IAEA/ARCAL XLIX*** Para lo cual, se replicó los exámenes más comunes realizados en las diferentes salas con la ayuda de un fantoma antropomórfico que simula al paciente y tomó distintos puntos de interés en cada sala donde se encuentre ubicado el Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y el público. En la cual concluyó que las dosis semanales y anuales en los distintos puntos de interés de cada sala, cumple con los niveles de restricción de dosis permitidos de 0.10 mSv/sem o 5.0 mSv/año para zonas controladas y 0,01 mSv/sem o 0.5 mSv/año para zonas no controladas (Vásconez, 2019).

Planteamiento del problema

El uso de las radiaciones ionizantes en el área médica ha sido de gran utilidad para el estudio diagnóstico de múltiples patologías, provocando constante evolución, sin embargo, se debe manejar con mucha responsabilidad, debido a los efectos colaterales que pueden desencadenar en caso de no aplicar correctamente las normas de seguridad y protección radiológica. Estas normas garantizan los beneficios y minimizan los riesgos que involucran el trabajo con radiaciones ionizantes.

Existe a nivel internacional, múltiples organismos que promueven la protección radiológica como la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), la ICPR (Comisión Internacional de Protección Radiológica), Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA). A nivel Nacional, el ente regulador es la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), la cual otorga la licencia de funcionamiento a los centros médicos que trabajen con radiaciones ionizantes.

El último cálculo de blindaje de la Unidad de Medicina Nuclear y Molecular, PET Ciclotrón del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín se realizó en el año 2012, no se posee registro de la validación de esas estimaciones teóricas mediante un levantamiento radiométrico. Debido a que las barreras pudieran haberse afectado con el pasar del tiempo, y que ciertas áreas como el cuarto caliente y radiofarmacia no fueron consideradas en aquel estudio, es necesario realizar el cálculo de blindaje y validar donde fuese necesario a fin de garantizar la seguridad y protección

radiológica del POE, pacientes, público y evitar los efectos determinísticos y estocásticos a causa de sobreexposición.

Por aquello, surge la siguiente hipótesis: ¿Es necesario calcular y/o validar los blindajes estructurales del área de diagnóstico y producción del Centro de Medicina Nuclear y Molecular, PET Ciclotrón del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, a fin de garantizar la protección radiológica del personal ocupacionalmente expuestos (POE), pacientes y público?

Justificación

La protección radiológica es un requisito imprescindible a cumplir en una instalación que emplee fuentes de radiación ionizante, para lo cual, la institución de salud, debe garantizar entre otros aspectos, que los blindajes estructurales cuenten con las medidas adecuadas, para evitar riesgos en la salud de los seres humanos y el medio ambiente. Las instituciones de salud que hacen uso de radiaciones ionizantes para diagnóstico o tratamiento de enfermedades catastróficas, deben tener el permiso de funcionamiento del ente regulador SCAN, que garantiza, entre otros aspectos, la correcta funcionalidad de los blindajes estructurales.

El Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, cuenta con el Centro de Medicina Nuclear y Molecular, (Unidad Técnica PET Ciclotrón), mismo que produce y labora con material radiactivo líquido, ^{18}F -FDG, este radiofármaco a pesar de ser de vida media corta de 109.8 minutos, es un emisor de positrones, por lo cual, el POE que manipula este radiofármaco debe hacerlo con las medidas adecuadas a fin de evitar riesgos de contaminación o exposiciones innecesarias. Para disminuir el nivel de exposición al personal que se encuentra cerca de las zonas controladas, uno de los factores de protección radiológica aplicar es el blindaje ocupacional y, particularmente estructural.

El cálculo de blindaje en la Unidad Técnica PET Ciclotrón se lo realizó en el año 2012 para obtener el permiso de funcionamiento y garantizar desde un enfoque teórico la idoneidad de las barreras en la atenuación de la radiación del radiofármaco, asegurando el tránsito seguro del POE. Debido al enfoque teórico de la estimación del espesor de las barreras mediante un cálculo de blindaje, es necesario validar estos resultados con mediciones de radiación mediante un levantamiento radiométrico. Por otro lado, las condiciones en que opera la instalación radiactiva pudieran haberse modificado con el tiempo, o pudiera haberse alterado la integridad del blindaje estructural. Finalmente, no existen registros de validación de los blindajes estructurales para verificar la efectividad de éstos en la reducción de la exposición a la radiación ionizante del POE a niveles aceptables, según el cálculo de blindaje aprobado en el año 2012, se justifica la necesidad de desarrollar el presente Trabajo de Titulación.

Este estudio tiene como objetivo, validar los blindajes estructurales de las áreas de diagnóstico y producción de radiofármacos, de manera que garanticen la protección radiológica del POE. Esto se lo realiza tomando en cuenta las mismas consideraciones del año 2012, basado en “PET and PET/CT Shielding Requirements” (AAPM), “Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities” (NCRP-147), Arcal XLIX, “Shielding Calculation for Nuclear Medicine Services” de la Universidad de Colombia y el Protocolo para la evaluación de puestos de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes asociadas al uso médico de equipos de rayos x convencionales del Instituto de salud pública de Chile.

Objetivos

Objetivo General.

- Validar los blindajes estructurales de las zonas controladas en el área de diagnóstico y producción de radiofármacos en la Unidad Técnica PET Ciclotrón del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín

Objetivos Específicos.

- ✓ Realizar el cálculo de blindaje de las zonas controladas en el área de diagnóstico y producción de radiofármacos en la Unidad Técnica PET Ciclotrón.
- ✓ Identificar los puntos de interés para el levantamiento radiométrico.
- ✓ Determinar la magnitud de la transmisión de radiación ionizante a través de los blindajes estructurales.
- ✓ Determinar cuantitativamente la efectividad de los blindajes estructurales en referencia a la memoria técnica del cálculo de blindaje
- ✓ Realizar recomendaciones de reforzamiento estructural en base al análisis del cumplimiento de la construcción con el cálculo de blindaje.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Medicina Nuclear

Esta especialidad es normalmente utilizada para el diagnóstico o tratamiento de varias enfermedades tipo oncológica, neurológica, cardiológica, entre otras. En el aspecto diagnóstico existen distintos equipos que ayudan a la detección de estas patologías como son: PET (Tomografía por Emisión de Positrones), PET/CT (Tomografía por Emisión de Positrones/Tomografía Computada), PEM (Mamografía por Emisión de Positrones), SPECT/CT (Tomografía computarizada por Emisión de Fotón Único /Tomografía computada), PET/RM (Tomografía por Emisión de Positrones/Resonancia Magnética), cuyos procesos requieren de la aplicación de medidas de Protección Radiológica.

1.2. Radiofármacos

Los radiofármacos son medicamentos que contienen un principio activo, llamada “trazador”, que se marca con un radionúclido, provocando la emisión de una determinada dosis de radiación sobre un tejido biológico y que se aprovecha para fines diagnósticos y terapéuticos. Desde el punto de vista diagnóstico, la radiación emitida se usa para ver la forma de distribución del radiofármaco, y, además, obtener información fisiológica. Al igual que con los emisores de fotones únicos, estos radioisótopos deben unirse a alguna molécula, a través de la cual se podrá detectar determinado proceso metabólico (Chain, y Illanes, 2015, pág. 7).

Los radiofármacos pueden ser específicos o no específicos, el primero permite obtener localizaciones anatómicas mediante funciones o procesos biológicos mientras que los no específicos, se pueden distribuirse ampliamente en el organismo antes de eliminarse a través de los órganos de excreción. Uno de los radiofármacos más usados en medicina nuclear molecular es el ^{18}F -FDG.

1.2.1. *Radiofármaco emisor de positrones: ^{18}F -FDG*

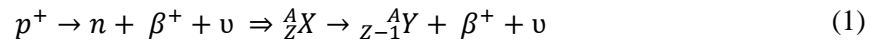
El Flúor-18, es un radioisótopo emisor de positrones que es incorporado a una molécula análoga de la glucosa, para formar la fluoro-2-desoxi-D-glucosa, mejor conocida como ^{18}F -FDG, este compuesto tiene una vida media muy corta, alrededor de 109.8 minutos y es el más utilizado en la exploración oncológica debido al exceso de protones en su núcleo, por ende emite positrones durante su decaimiento radiactivo que después de un breve trayecto de milímetros, chocan con electrones y la masa de ambos se convierte en energía produciendo dos rayos gamma o fotones de aniquilación de 511 keV que se desplazan a 180 grados opuestos el uno del otro (Martínez y Gerson , 2006, p. 296).

La captación de ^{18}F -FDG por las células malignas es proporcional a su actividad metabólica. La ^{18}F -FDG se fosforila para formar FDG-6-fosfato, pero a diferencia de la glucosa no se metaboliza y permanece atrapada en las células metabólicamente activas, lo que permite la visualización de las neoplasias malignas en PET (Martínez y Gerson , 2006, p. 296).

1.3. Emisión de positrones y aniquilación de pares

1.3.1. Transformación beta positivo

Cuando un núcleo radiactivo emite energía y llega a una configuración estable, es debido a que se ha dado una transformación radiactiva. En la transformación beta positivo, un protón se transforma en un neutrón, un positrón (β^+) y un neutrino (ν), cuando sucede aquello implica una pérdida en el número atómico en una unidad del núcleo padre (X) hacia el núcleo hijo (Y), conservando su masa atómica, junto con la emisión de un positrón (β^+) y un neutrino (ν) (Canseco, 2015, pág. 10).



El ^{18}F , al ser el mayor radioisótopo usado en diagnóstico PET, decae al Oxígeno -18 que es mucho más estable, su transformación es la siguiente:

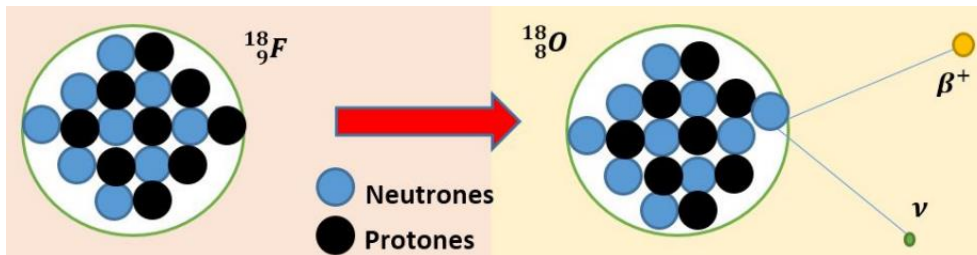


Figura 1-1. Transformación beta positivo del ^{18}F

Fuente: (Canseco, 2015, pág. 10).

1.3.2. Interacción positrón – materia

Las partículas cargadas poseen la característica de interactuar con la materia, dando lugar a procesos de ionización o excitación. Los positrones al poseer carga, interaccionan con los electrones de los átomos del medio en el que se encuentran y por cada interacción que tienen, van disminuyendo su energía cinética hasta llegar al punto de detenerse, a la pérdida de energía por longitud de interacción en su recorrido se lo conoce como **Poder de Frenado Lineal** (Canseco, 2015, pág. 12), su expresión matemática es la siguiente:

$$S_{lin} = -\frac{dT}{dx} \left[\frac{MeV}{cm} \right] \quad (3)$$

1.3.3. Alcance y aniquilación del positrón

Los positrones poseen una masa pequeña en comparación con las partículas pesadas, por ello son mucho más difíciles de desviarlos y su alcance es inexacto al llegar a un medio. El alcance R, se define como la longitud que atraviesa en el medio la partícula hasta detenerse (Canseco, 2015, pág. 13).

El positrón al ser una partícula cargada positivamente, al interactuar con los electrones (carga negativa) del medio en el que se transfieren, producen el fenómeno de aniquilación de pares, producto de aquello se da una explosión energética de 511 keV. Por conservación de energía y del momento lineal, los fotones producto de la aniquilación se desvían en una trayectoria de 180 grados, ver figura 2-1.

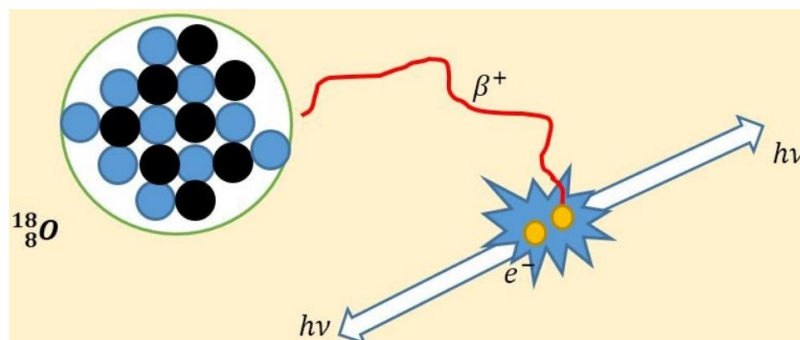


Figura 2-1. Emisión de dos fotones de 511KeV

Fuente: (Canseco, 2015, pág. 14).

1.4. Equipo de detección: PET / CT

En un PET/CT, se realiza un funcionamiento de manera continua, es decir que se realiza un examen seguido del otro, no simultáneamente pero muy próximos en el tiempo, y los sistemas se integran mediante una cierta coordinación mecánica de la mesa y del software. El uso de las dos exploraciones en un tiempo casi simultáneo es de gran ventaja para el diagnóstico y tratamiento de varias patologías, entre ellas el cáncer. El PET proporciona información sobre la localización de los tumores cancerígenos o metástasis, por el contrario, el CT aporta la exactitud espacial, así como información fiable sobre la atenuación de los tejidos que se aprovecha tanto para el cálculo de depósito de dosis como para mejorar la reconstrucción tomográfica del PET.

La exploración con PET/CT se realiza con isótopos radiactivos de vida media muy corta, como lo es el ^{18}F , que necesariamente se producen en un ciclotrón, el cual para mayor eficacia debe

estar cercano al centro de diagnóstico, las grandes ventajas del examen diagnóstico PET/CT, son las siguientes:

PET/CT ha producido una imagenología molecular funcional del cáncer; tiene un alto valor predictivo negativo mediante la exploración del cuerpo entero; diagnostica la benignidad o malignidad de una neoplasia detectada por otros métodos de imagen; establece el diagnóstico de extensión previo al planteamiento terapéutico de un cáncer conocido; identifica un tumor residual y los cambios producidos por la cirugía, la quimio o radioterapia; localiza recidivas tumorales sospechosas clínicamente o por elevación de marcadores tumorales; permite hacer un nuevo estudio de extensión o reestadificación tras el diagnóstico de una recurrencia; permite valorar tempranamente la respuesta a un esquema terapéutico y la búsqueda del tumor primario en pacientes con metástasis de origen desconocido (Martínez y Gerson, 2006, pág. 296).



Figura 3-1. Equipo híbrido de tomografía computarizada y PET (PET/CT).

Fuente: (Serrano, 2017, pág. 13).

1.5. Detectores en medicina nuclear

La radiación gamma tiene la capacidad de producir ionizaciones y excitaciones en la materia cuando interacciona con ella, de manera que los fundamentos de la detección de la radiación estarán basados en la medición de estos efectos. Los equipos detectores estiman cualquier propiedad de la radiación, a partir de ello, se emite una señal débil que debe ser adecuadamente amplificada y analizada con el fin de conocer el valor de la magnitud.

1.5.1. Detectores de ionización gaseosa

Los detectores de ionización gaseosa están constituidos por un recinto lleno de un gas a presión en el que se disponen dos electrodos separados una cierta distancia, a los que se aplica una tensión de polarización (Alcaraz, y López, 2003, pág. 51).

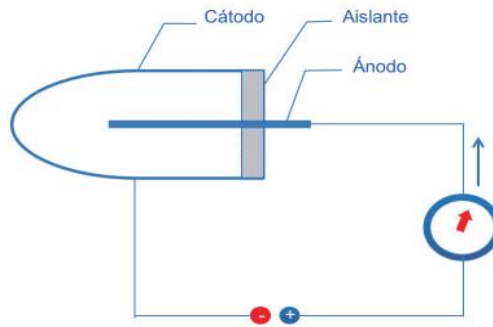


Figura 4-1. Principio físico de los detectores gaseosos.

Fuente: (Ávila, Calvino y López, 2018, pág. 177)

Dado que los gases son aislantes, en condiciones normales no circula corriente eléctrica entre ambos electrodos. Pero si una partícula ionizante alcanza el gas, se generan, por ionización, pares ión – electrón.

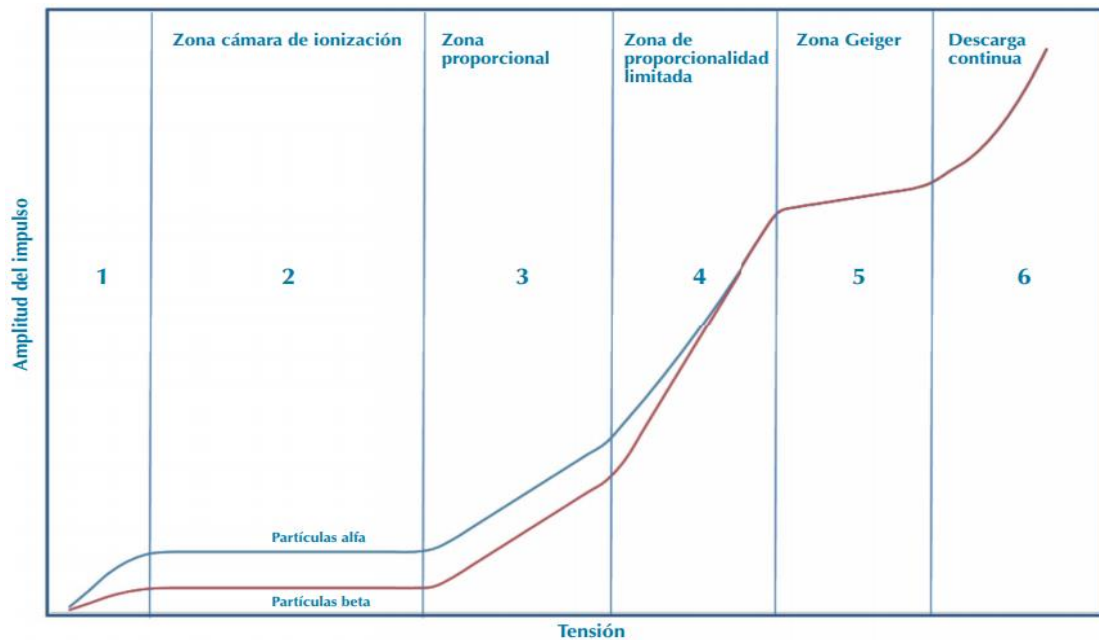


Figura 5-1. Tensión vs Amplitud de impulso en detectores tipo gaseoso.

Fuente: (Vallejo, 2012, pág. 42).

Dependiendo de la tensión aplicada entre los electrodos se pueden distinguir los siguientes tipos de detectores de ionización gaseosa:

1.5.1.1. Cámara de ionización

Tipo de detector constituido por un relleno de gas contenido en el interior de un recipiente sometido a una diferencia de potencial debido a dos electrodos que se encuentran separados a una determinada distancia, normalmente estos detectores cuentan con una cubierta externa adicional

a la cámara, conocida como cubierta separable, aquella permite que llegue al detector la dosis más penetrante que ha recibido el organismo, de esta manera se obtiene la dosis profunda, si se retira la cubierta se obtendrán valores más altos de dosis por ende se dice que se obtiene la dosis superficial o de piel (Alcaraz, y López, 2003, pág. 53).



Figura 6-1: Cámara de ionización Ludlum 9DP-1

Fuente: (Carlyle, 2017, pág. 561)

La corriente generada en la cámara es generalmente muy pequeña, por lo que necesita de una posterior amplificación antes de su medida, utilizando para ello un circuito electrónico alimentado por las propias baterías de la cámara. Respecto al campo de utilización de las cámaras de ionización debe decirse, que se usan preferentemente para la detección de fotones (radiación X y gamma) y partículas beta. La detección de partículas beta se alcanza a través de ventanas suficientemente delgadas (Alcaraz y López, 2003, pág. 53).

1.5.1.2. Contador Geiger - Müller:

Detector que consta de una cámara de ionización, posee en el interior un gas de relleno y un gas extintor, el primero suele ser Argón y el segundo cloro o bromo, de dicha forma se evita emitir electrones secundarios al momento de que los iones llegan al cátodo, este tipo de detectores es más usado para detección de radiación gamma o partículas beta (Alcaraz y López, 2003, pág. 54). La representación gráfica que produce una fuente radiactiva en un contador Geiger en función del voltaje (V) aplicado, es una curva característica, en ella aparece una zona denominada **plateau**, del contador, **ver figura 7-1.**

Los contadores Geiger-Müller trabajan en la región que se caracteriza por una tensión aplicada entre el ánodo y el cátodo lo suficientemente alta como para que las avalanchas Townsend se propaguen a lo largo de todo el ánodo (Universidad de Sevilla, 2016, pág. 1).

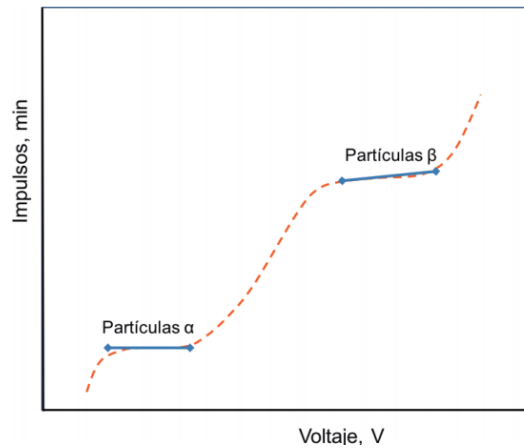


Figura 7-1: Zona *plateau* del contador proporcional

Fuente: (Ávila, Calvino y López, 2018, pág. 182).

1.5.2. Dosimetría Ambiental

Verifica los valores de tasa de dosis en los lugares externos e internos, tanto en áreas controladas como supervisadas, su estudio ayuda a verificar la exposición del personal como control complementario a la dosimetría personal, es más usada en áreas de radioterapia y medicina nuclear, debido a los altos niveles de exposición (Caspé, 2004, pág. 8).

- ✓ Detectores ambientales para el exterior: determinación de la dosis en el exterior de las instalaciones.
- ✓ Detectores ambientales para el interior: medida de dosis ambiental en el interior de las instalaciones.

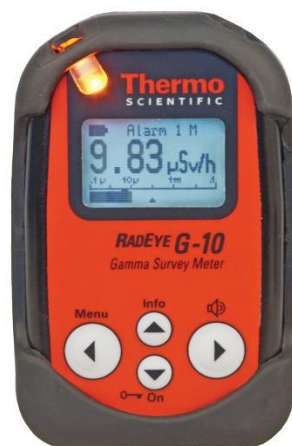


Figura 8-1: Detector Ambiental modelo RadEye G-10

Fuente: (Thermo Fisher Scientific, 2015)

1.6. Categorización de Zonas de Exposición Radiológica.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica usa dos denominaciones: zonas controladas y zonas supervisadas.

1.6.1. Zona controlada:

Es una zona definida donde se requieren, medidas específicas de protección y de seguridad, normalmente vigiladas por el personal competente a fin de controlar las exposiciones normales o prevenir la dispersión de contaminación y las exposiciones potenciales, en medicina nuclear molecular las zonas controladas involucran a salas de producción y dispensación de radiofármacos, almacenamiento de desechos radiactivos, salas de administración de radiofármacos, sala de examen de diagnóstico (Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP-103), 2007, pág. 74).

1.6.2. Área Supervisada:

Zona en que las condiciones de operación se mantienen bajo observación, pero donde habitualmente no se requieren procedimientos especiales de protección radiológica, normalmente en aquella zona se puede llegar a superar los límites de dosis que recibe el público (Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP-103), 2007, pág. 74).

1.7. Nivel de dosis en áreas controladas

Los niveles de dosis en áreas controladas están sujetos al principio ALARA con valores máximos establecidos en 20 mSv por año. Es notorio que el POE que labora con pacientes PET recibe dosis mayores a la radiología convencional, esto debido al proceso de inyección del radiofármaco, posición de paciente y obtención de imágenes.

1.7.1. Dosis de las inyecciones del paciente.

Debido a la alta dosis constante, asociada con los radionúclidos emisores de positrones, las dosis para las personas que preparan y administran radiofármacos PET pueden ser sustanciales no solo a nivel de cuerpo entero, sino incluso de extremidades, la tasa de dosis a 5 cm de una jeringa sin blindaje con 15 mCi de ^{18}F es 33 mSv/h (Madsen, et al., 2006, pág. 12).

1.7.2. Dosis según la posición del paciente.

Para una administración de 15mCi de ^{18}F , la tasa de dosis a un metro de distancia es aproximadamente 30 $\mu\text{Sv/h}$ por ende es recomendable tener personal suficiente para disminuir el tiempo de exposición al momento del contacto con el paciente radiactivo (Madsen, et al., 2006, pág. 12).

1.7.3. Dosis de imágenes del paciente.

Una distancia de 2 m entre el equipo PET/CT y la consola de mando, reduce la dosis del operador por debajo de los niveles ALARA, por ello muchos centros de medicina nuclear molecular monitorizan el proceso de obtención de imágenes mediante videocámaras en lugar de a través de un vidrio plomado (Madsen, et al., 2006, pág. 12).

1.8. Habitaciones adyacentes al mismo nivel en áreas controladas

ALARA establece un límite de dosis efectiva optimizado de 5 mSv/año a cuerpo entero, y este nivel puede superarse por el personal que labora en salas adyacentes al área de captación (Cuarto de inyección), si la distancia es menor a 4m de los pacientes radiactivos, por ello es recomendable una planificación minuciosa del flujo de trabajo alrededor de la instalación PET/CT (Madsen, et al., 2006, pág. 13).

1.9. Consideraciones de diseño: PET / CT

Las instalaciones PET/CT deben considerar los límites reglamentarios, las áreas no controladas con alta ocupación deben ubicarse lo más lejos posible de las salas de captación (Cuartos de inyección) y de imágenes (PET/CT). Además, si hay áreas no controladas por encima y por debajo de la sala PET/CT, es necesario analizar el espaciado entre pisos ya que puede requerir de una distancia superior a la normal. Los estudios de PET/CT se realizan en menor cantidad que los estudios CT, sin embargo, su análisis de blindaje es similar a cualquier centro CT, cabe señalar que el blindaje de plomo requerido en las paredes para el sistema CT solo ignorando el componente PET tendrá solo un efecto de blindaje modesto para la radiación de aniquilación de 511 keV. Debido a que el HVL (Half Value Layer o Barrera Hemirreductora, en español) para los rayos X de CT es mucho más pequeño que el de los fotones de 511 keV, por ello, es poco probable que una habitación que esté protegida para cumplir con los niveles de público general para PET 1 mSv/año necesite protección adicional para el componente de CT (Madsen, et al., 2006, pág. 13).

1.9.1. Blindaje

El blindaje es un factor necesario en instalaciones donde se presentan altos niveles de exposición a la radiación ionizante, es por ello, que se necesita estudios de cálculo del espesor de adecuados materiales de construcción que sean apropiados para la atenuación a dicha radiación, considerando en ello los beneficios, costos de infraestructura, vida útil de los materiales, entre otros aspectos. Es más común encontrar en centros de medicina nuclear molecular, infraestructura con materiales de ladrillo o concreto, puertas, vidrios, protectores de jeringa, contenedores, mesas transportadoras plomadas, pantallas protectoras, y demás (Preciado y Luna, 2010, pág. 28).

El blindaje estructural cumple un rol fundamental para evitar dosis altas de radiación, especialmente en centros de salud que utilizan radiofármacos como lo es la medicina nuclear molecular, por ello se requieren de estudios que garanticen que las instalaciones sean las adecuadas, uno de ellos es el levantamiento radiométrico.



Figura 9-1: Técnicas de minimización de la exposición.

Fuente: (Sánchez, 2018, pág. 7)

1.10. Límites de dosis a nivel Nacional e Internacional

El Reglamento de Seguridad Radiológica del Ecuador establece en su: **TITULO PRIMERO** De la Protección Contra la radiación. **CAPITULO I:** que en **Art. 1. Dosis máxima permitida para personas ocupacionalmente expuestas:** No se podrá usar fuentes de radiación que den lugar a que una persona ocupacionalmente expuesta, reciba una dosis de radiación en exceso de los límites especificados en la **tabla 2-3**, mientras que en el **Art. 3.- Exposición de menores de edad:** Se prohíbe el trabajo de personas menores de 18 años de edad en áreas de radiación (Consejo Ecuatoriano de Energía Atómica (CEEA), 1979, pág. 4).

Tabla 1-1: Dosis máxima permitida para irradiación externa

ÓRGANOS	DOSIS MÁXIMA PERMITIDA
Cuerpo entero, gónadas médula ósea.	50 mSv /año 30 mSv/trimestre
Hueso, piel de todo el cuerpo tiroides	300 mSv/año 150 mSv/trimestre
Manos, antebrazos, pies tobillos	750 mSv/año 400 mSv/trimestre
Todos los otros órganos	150 mSv/año 80 mSv/trimestre.

Fuente: Reglamento de Seguridad Radiológica, 1979

Realizado por: Arguello, Marlon, 2020

La ICRP ha recomendado límites de dosis de exposición a la radiación para el personal ocupacionalmente expuestos (POE) y para el público en general.

Tabla 2-1: Límites de dosis en situaciones de exposición planificadas

TIPO DE LÍMITE	OCUPACIONAL	PÚBLICO
Dosis efectiva	20mSv por año promediado en 5 años definidos.	1mSv en un año
Dosis equivalente anual en:		
Cristalino	150mSv	15mSv
Piel	500mSv	50mSv
Manos y pies	500mSv

Fuente: (Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP-103), 2007, pág. 86)

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

Los límites para el personal ocupacionalmente expuesto (POE), busca prevenir la aparición de efectos determinísticos y limitar los efectos estocásticos como puede ser el cáncer, también se sugiere que las trabajadoras embarazadas no se expongan a un alto nivel de tasa de dosis. La Comisión Internacional de Protección Radiológica, busca la implementación de un sistema apropiado de protección radiológica del staff femenino antes de que sepan acerca de su embarazo (Nuñez, 2008, pág. 12).

1.11. Protocolos e investigaciones para cálculo de blindaje y levantamiento radiométrico en Medicina Nuclear Molecular.

1.11.1. PET and PET/CT Shielding Requirements (Task Group – 108, AAPM)

La Asociación Americana de Físicos Médicos (AAPM), es una organización científica y profesional, fundada en 1958. Uno de los objetivos principales de AAPM es la identificación e implementación de mejoras en la seguridad del paciente para el uso médico de la radiación en imágenes y radioterapia. En el 2006 se emite una recomendación por el Task Group AAPM 108: PET and PET/CT Shielding Requirements en el que se exponen los requerimientos para poder realizar cálculos de blindaje en PET/CT (American Association of Physicists in Medicine (AAPM), 2010).

1.11.2. Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities (NCRP – 147)

El NCRP-147, nos brinda información, en cuanto al diseño de blindaje estructural para las unidades que trabajen con radiación ionizante, en este informe se reemplaza las recomendaciones hechas en el NCRP N° 49, se mejora la selección de materiales apropiados para el blindaje, y factores para el cálculo de espesor de barrera (National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP-147), 2007).

1.11.3. “Shielding Calculation for Nuclear Medicine Services” (Universidad de Colombia)

Estudio que muestra el cálculo de blindaje que servicios de medicina nuclear, comparando dos métodos de cálculo. El primer consiste en obtener el factor de transmisión B, logrando así tener el espesor del material necesario en la zona requerida, ya sea controlada o no controlada. Luego se usan las tablas de HVL (Half Value Layer) o TVL (Tenth Value Layer) para cada material de construcción obteniéndose el espesor del material. El otro método es mediante la tasa de exposición por medio de la constante de la tasa de Kerma en Aire, luego se usan las bases de datos (XCOM) desarrolladas por NITS (National Institute of Standards and Technology) para obtener el coeficiente de atenuación que son utilizados en la ley de atenuación exponencial (Madero, Orejuela y Plazas 2017, pág. 2).

1.11.4. Principle of Radiological Shielding of Medical Cyclotrons (Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO))

En este informe se detallan aspectos técnicos para realizar cálculos de blindajes en ciclotrones de uso médico, también ayuda en la descripción de ciertos aspectos físicos de los blindajes, como son longitud de atenuación, densidades, entre otros. Además presenta ecuaciones para realizar el cálculo de blindaje en ciclotrón, adaptándola a la necesidad del hospital.

1.11.5. Radiation Shielding Design for Medical Cyclotron (China Institute of Atomic Energy)

Este documento detalla información sobre consideraciones para el blindaje en una instalación para un ciclotrón PET utilizado para pruebas en el Instituto de Energía Atómica de China en ella se detalla aspectos de blindaje para hormigón, y ecuaciones de cálculo que se adaptan a las condiciones del ciclotrón del HECAM.

1.11.6. Protocolo de control de calidad en radiodiagnóstico (ARCAL XLIX)

Protocolo usado para levantamientos radiométricos en los centros que laboran con radiación ionizante en radiodiagnóstico, a su vez capacita al personal para la correcta evaluación en áreas de rayos X, mamografía, fluoroscopia, tomografía, entre otros. Con ello se logra cumplir pruebas de aceptación para los equipos de trabajo y así se garantiza la seguridad y protección radiológica del POE (Organismo Internacional de Energía de atómica, 2001, pág. 6).

1.11.7. Protocolo para la evaluación de puestos de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes asociadas al uso médico de equipos de rayos x convencionales (ISPCH)

Este estudio pretende establecer una metodología para un estudio de levantamiento radiométrico, en la que se permita determinar los niveles de exposición a radiaciones ionizantes del POE de

acuerdo al D.S. N°3 de 1985 del Ministerio de Salud de Chile, asociadas a la utilización de equipos de rayos X de uso médico convencional. Con ello se estudia la exposición a individuos del público que se ubiquen en diferentes áreas de las instalaciones más no a pacientes en lo que se conoce como exposición médica (Espinoza, 2017, pág. 4).

1.12. Consideraciones para el cálculo de blindaje y levantamiento radiométrico: Medicina Nuclear Molecular.

1.12.1. Radiación primaria

La radiación primaria, también denominada haz útil, es radiación emitida directamente desde el tubo de rayos X hacia el paciente, directa responsable de la obtención de imágenes del paciente (National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP-147), 2007, pág. 9).

1.12.2. Radiación secundaria

Rayos X esparcidos por el paciente y otros objetos como el hardware de imagen, es la radiación recibida por el POE, normalmente aumenta cuando el campo de irradiación aumenta (National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP-147), 2007, pág. 9).

La exposición de las personas a la radiación primaria y secundaria depende principalmente de los siguientes factores:

2. la cantidad de radiación producida por la fuente.
3. la distancia entre la persona expuesta y la fuente de la radiación.
4. la cantidad de tiempo que una persona pasa en el área irradiada.
5. la cantidad de blindaje protector entre el individuo y la fuente de radiación.

1.12.3. Radiación de fuga

Es la emitida por el tubo de rayos X que atraviesa la carcasa protectora del tubo, el kerma en el aire debido a la radiación de fuga se puede estimar suponiendo que la intensidad de la radiación de fuga es igual a la de la radiación primaria en ausencia de la carcasa en el tubo, normalmente las carcasas de los tubos suelen tener un espesor de 2.3 mm Pb para limitar la radiación de fuga a valores aceptables, así, el kerma en aire debido a la radiación de fuga es el que correspondería al haz primario atenuado por la carcasa del tubo (National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP-147), 2007, pág. 45).

1.12.4. Barreras primarias

Una barrera primaria es una estructura, sea, pared, techo, piso u otras que interceptará la radiación emitida directamente por la fuente generadora. Su función es atenuar el haz útil para los objetivos de diseño de blindaje adecuados.

1.12.5. Barreras secundarias

Una barrera secundaria es aquella que limita el kerma del aire de las radiaciones dispersas y de fuga generadas por la unidad radiográfica al objetivo de diseño de blindaje apropiado (National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP-147), 2007, pág. 45).

Para salas de medicina nuclear molecular lo recomendable es que la cabina de control se encuentre por fuera de la sala, esto a fin de evitar que sea una barrera primaria, con ello el estudio entre paciente y POE debe ser mediante una videocámara.

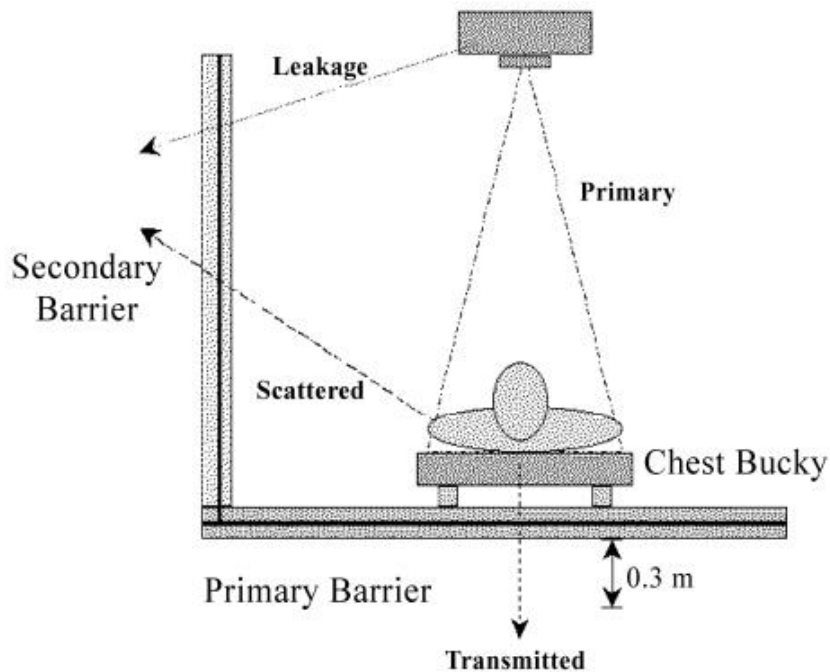


Figura 10-1: Barreras primarias y barreras secundarias

Fuente: (National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP-147), 2007, pág. 10)

1.12.6. Distancia al área ocupada

La distancia “d” al área de interés ocupada debe tomarse desde la fuente hasta la aproximación probable más cercana de los órganos sensibles de una persona a la barrera.

- Para una pared, se puede suponer que esto no es $< 30\text{cm}$.
- Para una fuente ubicada sobre espacios potencialmente ocupados, se puede suponer que los órganos sensibles de la persona que está debajo no están $> 170\text{ cm}$ por encima del piso inferior.
- Desde el techo la distancia de al menos 50 cm por encima del piso de la habitación de arriba es generalmente razonable.

- En algunos casos especiales, como una estación de enfermería o una acera al aire libre, la distancia desde la barrera hasta el área habitualmente ocupada más cercana puede ser considerablemente mayor.

1.12.7. Carga de trabajo

Es la integral de tiempo de la corriente del tubo de rayos X durante un período especificado y se da convencionalmente en unidades de miliamperios*minutos.

La carga de trabajo normalizada (W_{norm}) es la carga de trabajo promedio por paciente. La carga de trabajo total por semana (W_{tot}) es el producto de (W_{norm}) por el número promedio de pacientes por semana (N)

$$W_{tot} = N * W_{norm} \quad (4)$$

1.12.8. Factor de uso

Se representa con la letra (U), y es la fracción de la carga de trabajo del haz primario que se dirige hacia una barrera primaria determinada. Los valores de factor de uso para piso, techo y paredes son los siguientes:

Tabla 3-1: Valores de factor de uso para piso, techo y paredes.

U	
Piso y Techo	Paredes
1,00	0,25

Fuente: (Madero, Orejuela y Plazas, 2017, pág. 3)

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

1.12.9. Factor de ocupación

Se representa con la letra T, y es la fracción promedio de tiempo que el individuo expuesto al máximo está presente mientras el haz de rayos X está encendido o una fuente radiactiva está expuesta. No siempre la zona más transitada es aquella que posee un factor de ocupación más alto, debido a que las personas pueden estar allí simplemente de manera temporal, pese a ser muy transitada. Es muy común que las zonas controladas que son en las que se encuentran los equipos generadores de radiación posean el factor de ocupación más alto es decir 1.

Tabla 4-1: Valores de factor de ocupación

UBICACIÓN	FACTOR DE OCUPACIÓN (T)
Las oficinas administrativas, laboratorios, farmacias, recepción, salas de espera, los niños en zonas de juegos interiores, salas de comando, salas adyacentes, áreas de lectura, estaciones de enfermería, y otras áreas de trabajo totalmente ocupados por un individuo.	1
Habitaciones utilizadas para exámenes y tratamientos de pacientes.	(0,50)
Pasillos, habitaciones de pacientes, salas de estar, salas de descanso para empleados.	(0,20)
Puertas corredor	(0,125)
Baños públicos, áreas de venta, áreas desatendidas, zonas al aire libre con asientos, salas de espera sin atención, áreas de espera de pacientes.	(0,05)
Áreas exteriores de acceso peatonal o vehicular transitorio, estacionamientos desatendidos, ático, escaleras, ascensores sin vigilancia, armarios o porteros	(0,025)

Fuente: (National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP-147), 2007, pág. 31)

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

1.12.10. Factor de transmisión

B, se define como la relación entre la tasa de dosis anual a una distancia dada con sistema de blindaje y la tasa de dosis anual en el mismo punto sin blindaje (Madero, Orejuela y Plazas, 2017, pág. 4). Su representación matemática es la siguiente.

$$B = \frac{\dot{D}}{\dot{D}_o} = e^{-\mu x} \quad (5)$$

1.12.11. Constante de tasa de dosis del Flúor-18

Para una fuente puntual de Fluor-18, la constante de tasa de dosis Γ es de $0,143 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$. La AAPM recomienda utilizar un valor de Γ inferior, de $0,092 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$, y asumir que la energía de todos los fotones emitidos por el paciente es de 511 keV (Madsen, et al., 2006, pág. 8).

1.12.12. Parámetros de ajuste para datos de transmisión de haz ancho de 511KeV.

Tabla 5-1: Parámetros de ajustes.

Material de blindaje	α (cm ⁻¹)	β (cm ⁻¹)	γ
Plomo	1.543	-0.4408	2.136
Concreto	0.1539	-0.1161	2.0752
Hierro	0.5704	-0.3063	0.6326

Fuente: (Madsen, et al., 2006, pág. 7)

Realizado por: Arguello, Marlon, 2020

1.12.13. Restricción de dosis (Objetivo de Blindaje)

Se utilizan en el diseño o evaluación de barreras construidas para la protección de empleados y miembros del público. La restricción de dosis semanal para áreas controladas y no controladas son las siguientes:

Tabla 6-1: Valores de restricción de dosis para áreas controladas y no controladas.

	RESTRICCIÓN DE DOSIS (μSv/semana)
ÁREA CONTROLADA	100
ÁREA NO CONTROLADA	20

Fuente: (Madsen, et al., 2006, pág. 9).

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de Investigación

El presente trabajo es una investigación mixta, debido a que combina información cuantitativa, y cualitativa, esto porque se realizará una validación de los blindajes estructurales de la Unidad Técnica PET Ciclotrón a fin de garantizar la protección radiológica del POE, además, será un estudio aplicativo ya que se implementará dentro de la Unidad. Es un trabajo explicativo, porque indicará los valores de blindajes que debe poseer la Unidad y, en correspondencia, datos de un levantamiento radiométrico que corrobora el estudio. Según la manipulación de variables es de tipo experimental, ya que requiere una toma de datos mediante uso de detectores para su respectivo análisis, contrastándolo con recomendaciones internacionales. Y finalmente la investigación es transversal porque se usan datos recolectados en el año 2020 en cada una de las áreas específicas de la Unidad Técnica PET Ciclotrón.

2.2. Población de estudio

Para el cálculo de blindaje y su validación mediante levantamientos radiométricos se estudiaron las áreas de diagnóstico y producción de radiofármacos, cada una de sus salas se detallan a continuación

2.2.1. Área de diagnóstico

Involucra a la sala de inyección N°1, sala de inyección N°2, sala de inyección N°3, sala de diagnóstico PEM, baños de pacientes radiactivos, sala de diagnóstico PET/CT y cuarto caliente.

2.2.2. Área de producción de radiofármacos

Involucra al búnker de ciclotrón, laboratorio de radiofarmacia y laboratorio de control de calidad.

2.3. Equipos, Materiales y Métodos

2.3.1. Equipos:

Los equipos generadores/detectores de radiación ionizante usados en el área de diagnóstico son los siguientes: tomógrafo de PET/CT, mamógrafo de PEM; el equipo generador de radiación ionizante utilizado en el área de producción de radiofármacos es el siguiente: ciclotrón; y los equipos de monitorización radiológica para el área de diagnóstico y producción son: detector Geiger - Müller y cámara de ionización, ambos debidamente calibrados, ver **Anexo**. A continuación, las especificaciones técnicas de los equipos.

Tabla 1-2: Especificaciones técnicas del Equipo PET/CT

	GENERADOR DE RAYOS X (SECCIÓN CT DEL TOMOGRAFO)	FUENTE DE FLUOR-18 A LA FECHA DE MEDICIÓN
MARCA / IDENTIDAD	GE Healthcare	¹⁸ F-FDG
MODELO / TIPO DE FUENTE	Discovery VCT	Abierta
NÚMERO DE SERIE	11948PT7	N/A
ENERGÍA MEDIA / ACTIVIDAD MEDIA /	120 KVp	10 mCi por paciente / 511 KeV
ENERGÍA DE DETECCIÓN	(511 ± 20) KeV	N / A

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

Tabla 2-2: Especificaciones técnicas del Equipo PEM

	DETECCIÓN DE FOTONES GAMMA	FUENTE DE FLUOR-18 A LA FECHA DE MEDICIÓN
MARCA / IDENTIDAD	Naviscan	¹⁸ F-FDG
MODELO / TIPO DE FUENTE	Pemflex Solo II	Abierta
NÚMERO DE SERIE	9022-02-101014-01	N/A
ACTIVIDAD MEDIA/ ENERGÍA MEDIA	N / A	5 mCi por paciente / 511 KeV
ENERGÍA DE DETECCIÓN	(511 ± 20) KeV	N / A

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas del Ciclotrón

MARCA	GE Healthcare
MODELO	PET Trace 800
NÚMERO DE SERIE	2035UP4
ENERGÍA DE EMISIÓN	16.5 MeV
ACTIVIDAD MÁXIMA NOMINAL DE PRODUCCIÓN	8 Ci de ¹⁸ F
ACTIVIDAD MÁXIMA DE USO INTERNO	1.5 Ci de ¹⁸ F
TIEMPO DE PRODUCCIÓN PARA USO INTERNO	45 minutos

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

Tabla 4-2: Especificaciones técnicas del detector

TIPO	Geiger Müller
MARCA	Thermo Fisher Scientific
MODELO	RadEye G-10
DETECCIÓN	fotones (X y γ)
SERIE	30197
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CAL 2086
FECHA DE CALIBRACIÓN	2020-09-14
FACTOR DE CALIBRACIÓN	0,99±0,02
VALIDEZ DE CALIBRACIÓN	12 meses

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

Tabla 5-2: Especificaciones técnicas de la cámara de ionización

MARCA	Ludlum
MODELO	9DP
DETECCIÓN	α , β y fotones (X y γ)
SERIE	25019656
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	20372403
FECHA DE CALIBRACIÓN	2020-02-19
FACTOR DE CALIBRACIÓN	1,10
VALIDEZ DE CALIBRACIÓN	12 meses

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.3.2. *Materiales*

Para el cálculo de blindaje y el levantamiento radiométrico se utilizó los siguientes materiales:

- Flexómetro
- Cuaderno de apuntes
- Lápiz
- Cinta adhesiva.
- Protocolos de cálculo de blindaje y levantamiento radiométrico

2.3.3. *Métodos*

2.3.3.1. *Cálculo de Blindaje*

Para el área de diagnóstico:

En la realización del cálculo de blindaje, se procede a la identificación de los puntos de interés en cada una de las barreras a las salas a evaluar, luego se obtiene valores de distancia **fuente – barrera**, para lo cual se utiliza el flexómetro.

Para el cálculo de blindaje uno de los factores a estimar es el factor de transmisión (B), mismo que varía según sea una sala de captación (Cuartos de inyección) y de imagen (PET/CT y PEM). En nuestro caso, consideramos las demás salas restantes como salas de captación. A continuación, las especificaciones en cada sala:

- Cuartos de inyección, la distancia fuente – barrera se considera desde el sillón en el que se encuentran los pacientes hacia cada una de las paredes, con una carga de trabajo de 17 pacientes semanales, con un tiempo de captación de una hora, esto para cada cuarto de inyección. La actividad promedio para este estudio es de 10 mCi por paciente.

- Cuarto PEM, la distancia fuente - barrera se considera desde el asiento del mamógrafo hacia cada una de las paredes, en este estudio la carga de trabajo es de 5 pacientes semanales con un tiempo de imagen de 90 minutos. La actividad para este estudio es de 5 mCi por paciente.
- Baños de pacientes, la distancia fuente - barrera se considera desde el inodoro hacia cada una de las paredes, para ello se asume un total de 25 pacientes semanales en cada uno de los 2 baños, con un tiempo de micción de 5 minutos.
- Sala PET/CT, la distancia fuente – barrera se considera desde el isocentro del tomógrafo (punto medio aproximado al centro del gantry), hacia cada una de las paredes, la carga del trabajo es de 50 pacientes semanales con un tiempo de imagen de 30 minutos.
- Cuarto caliente, la distancia fuente – barrera se considera desde el dispensador de dosis hacia cada una de las paredes, en este caso se asume una carga de trabajo de 50 dispensaciones semanales con un tiempo de 5 minutos. La actividad para este caso es la de una multidosis para tres pacientes (escenario de máxima exposición), es decir, 35 mCi.

Para el área de producción,

- Ciclotrón, posee un autoblandaje, que protege de la exposición externa, sin embargo, la distancia fuente – barrera se considera desde el Target del ciclotrón hacia cada una de las paredes. La intensidad que emplea este equipo es de 70 μA , con un número de 5 producciones semanales y una exposición de 45 minutos por producción. La densidad de concreto es de 2,4 g/cm^3 , la longitud de atenuación es de 24,2 g/cm^2 , la actividad de producción es de 1500 mCi. El término de la fuente de FDG es de 118 $\mu\text{Sv}/\text{m}^2/\mu\text{A}$ en 0 grados, 86,80 $\mu\text{Sv}/\text{m}^2/\mu\text{A}$ en 90 grados y 64,50 $\mu\text{Sv}/\text{m}^2/\mu\text{A}$ en 45 grados respectivamente.
- Laboratorio de radiofarmacia, la distancia fuente – barrera se mide desde el centro de la sala hacia cada una de las paredes, la actividad es de 10 mCi con un número de 60 dispensaciones semanales y un tiempo de 3 minutos por dispensación.
- Laboratorio de control de calidad, la distancia fuente – barrera se mide desde la campana de extracción de gases hacia cada una de las paredes, debido a que es la zona donde se dispensa (por ende, existe más exposición) para pasar los controles de calidad. El tiempo de exposición es de 45 minutos en un total de 5 controles de calidad semanales. La actividad a considerar es de 10 mCi.

Consideraciones especiales:

Para salas de captación

- Se asume el factor de reducción de dosis en el tiempo de captación, mismo que depende de la vida media del ^{18}F y el tiempo de captación.

Para salas consideradas de captación

- Se considera el factor de reducción de dosis en un determinado tiempo, esto puede ser durante el tiempo de dispensación, tiempo de micción, tiempo de permanencia, tiempo de producción, tiempo de control de calidad, debido al cuarto caliente, baños, ciclotrón, laboratorio de radiofarmacia, laboratorio de control de calidad, que son asumidos de captación.

Para salas de imagen

- Se considera el factor de reducción de dosis en el tiempo de imagen, mismo que depende de la vida media del ^{18}F y el tiempo de imagen.
- El factor de decaimiento, mismo que emplea la vida media del ^{18}F y el tiempo de captación.

Para salas de captación, consideradas de captación y de imagen

Hay que asumir la restricción de dosis, dependiendo si son zonas controladas o no controladas, **ver tabla 6-1**. Además, establecer un valor al factor de ocupación según sea el área colindante, **ver tabla 4-1**.

2.3.3.2. Levantamiento radiométrico

Para validar los blindajes, se procede a la toma de **tasa de dosis** en cada uno de los puntos de interés que se evalúo en el cálculo de blindaje, las consideraciones para el levantamiento radiométrico varían dependiendo la sala a evaluar.

Para el área de diagnóstico:

- Cuartos de inyección, se realiza la monitorización de la tasa de dosis a 30 cm de distancia de las barreras estructurales con el detector Geiger – Müller, para ello se considera a pacientes radiactivos con valores de dosis de 10 mCi. El número de pacientes y el tiempo de permanencia en la sala son los mismos que para el cálculo de blindaje.
- Sala PEM, se realiza la monitorización de la tasa de dosis a 30 cm de distancia de las barreras estructurales con el detector Geiger – Müller. La actividad y la carga de trabajo de la sala son las mismas que para el cálculo de blindaje.
- Baños de pacientes, se realizó la monitorización en los 2 baños para pacientes, con el detector Geiger – Müller a 30 cm de la barrera, se asume 50 pacientes por semana y estableciendo que el 50% de ellos utilizan cada baño. La carga de trabajo depende del

número de pacientes por semana y el tiempo de micción de cada paciente, se considera 5 minutos el tiempo de micción.

- Sala PET/CT, se monitoriza primero la sección CT del equipo, para ello se debe considerar las medidas únicamente en el tiempo de disparos de rayos X, las medidas se las toma con la cámara de ionización en cada uno de los puntos de interés de las barreras, a 30 cm de distancia. Para obtener la carga de trabajo se estudia el número de pacientes, la intensidad del tubo y el tiempo de imagen. Se atiende a 50 pacientes por semana en un tiempo de imagen de 30 minutos con una intensidad del tubo de 800 mA, y un tiempo de exposiciones 0,35 segundos por scan, dando una corriente promedio de 280mA.seg/scan. Para la sección PET, se asume la posición del paciente en la parte del isocentro (parte media del gantry) del equipo, y se monitoriza con el detector Geiger – Müller a 30 cm de distancia de la barrera. Los puntos a evaluar son los mismos que para la sección CT, para obtener su carga de trabajo únicamente consideramos el número de pacientes y el tiempo de imagen, en este caso es el mismo que para la sección CT respectivamente.
- Cuarto caliente, se monitoriza la tasa de dosis con ayuda del detector Geiger – Müller a 30 cm de la barrera, la actividad de la multidosis para 3 pacientes y la carga de trabajo con los parámetros, son los mismos que para el cálculo de blindaje.

Para el área de producción:

- Ciclotrón, se monitoriza la tasa de dosis con una cámara de ionización a 30 cm de la barrera, y se estima que el tiempo de producción y el número de producciones semanales son las mismas que para el cálculo de blindaje.
- Laboratorio de radiofarmacia, se monitoriza la tasa de dosis con un detector Geiger – Müller, a 30 cm de la barrera, el número y tiempo de dispensación son los mismos que para el cálculo de blindaje.
- Laboratorio de control de calidad, se monitoriza la tasa de dosis con un detector Geiger – Müller a 30 cm de la barrera, el número de controles semanales y el tiempo que conlleva cada uno de ellos son los mismos que para el cálculo de blindaje.

Además, debemos asumir en cada una de estas salas las siguientes consideraciones:

- Factor de uso, **ver tabla 3-1.**
- Factor de ocupación, **ver tabla 4-1.**

2.3.3.3. Planos de la instalación

Para la realización del cálculo de blindaje y levantamiento radiométrico se requiere conocer todas las zonas de la Unidad y establecer puntos de interés, es por ello que se necesita de los planos de

la Unidad en la cual se detallan dimensiones, espesores, áreas colindantes, entre otros. A continuación, un plano general de la Unidad Técnica PET Ciclotrón y dos planos que detallan las áreas tanto de diagnóstico como producción de radiofármacos.

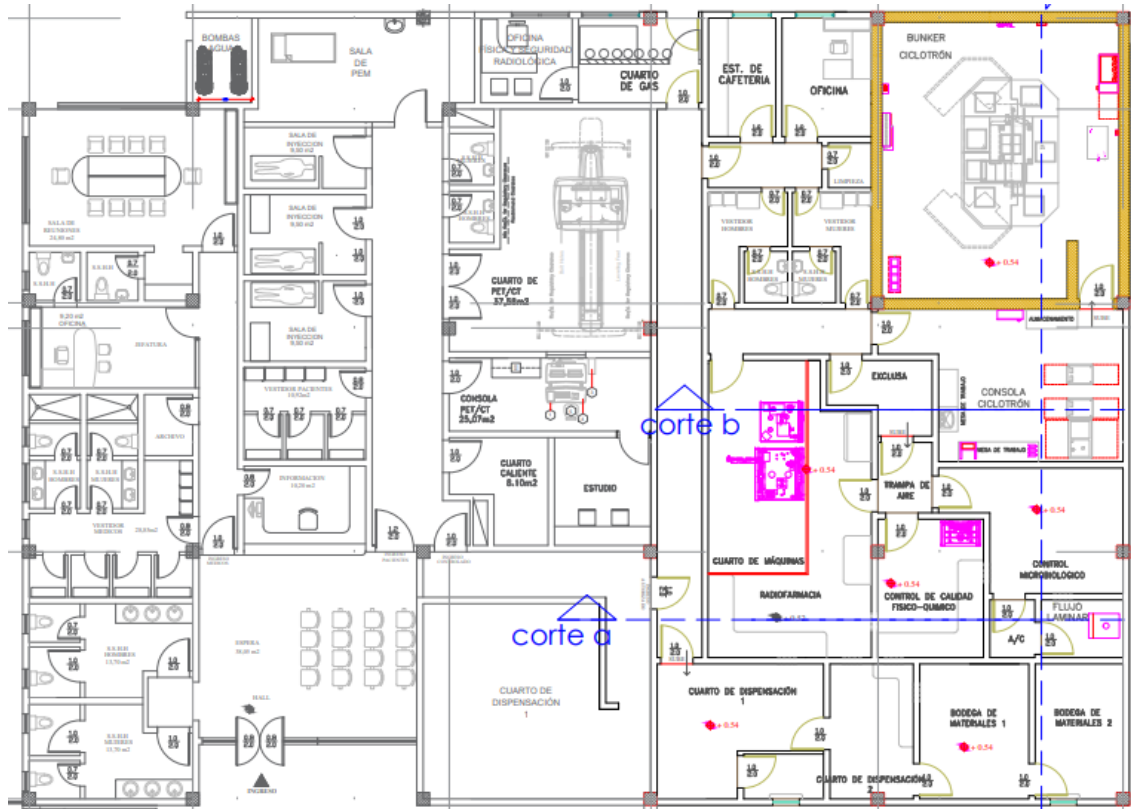


Figura 1-2: Plano General de la Unidad Técnica PET Ciclotrón

Fuente: (Hospital de Especialidad Carlos Andrade Marín, 2020)

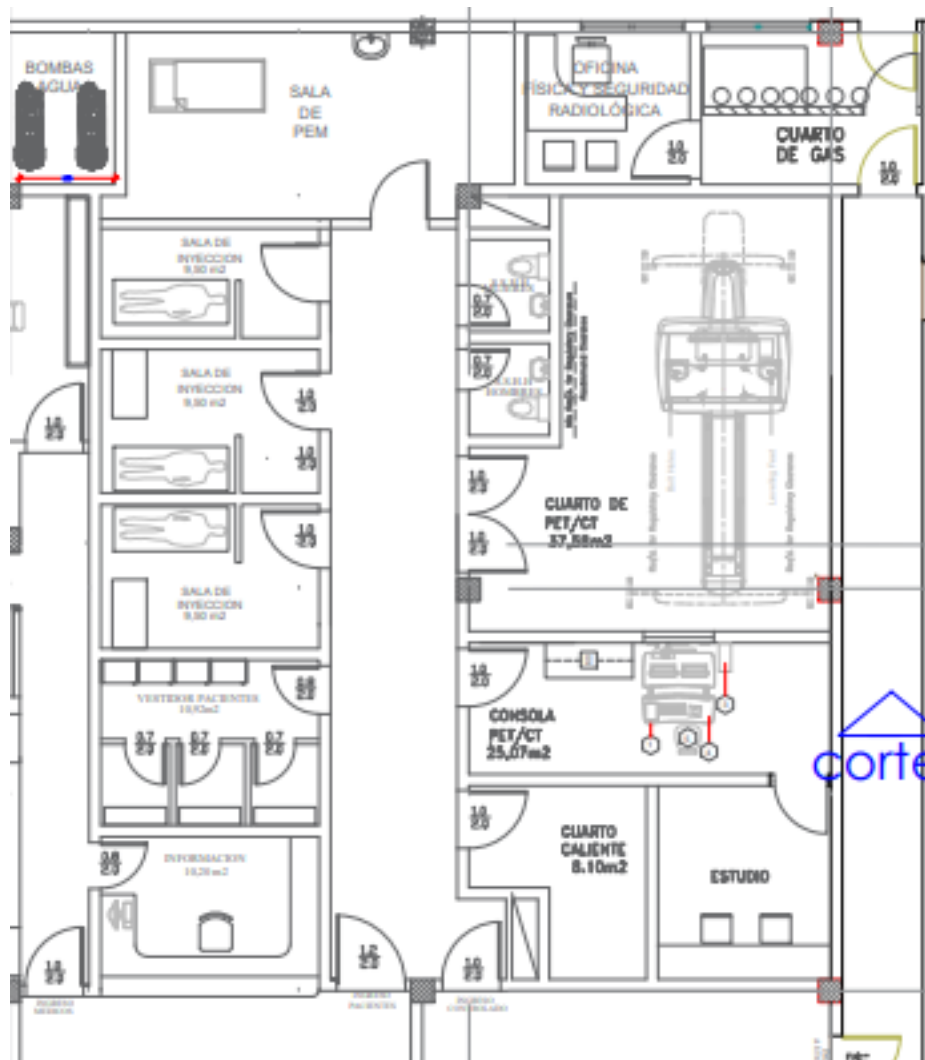


Figura 2-2: Plano del área de diagnóstico de la Unidad Técnica PET Ciclotrón.

Fuente: (Hospital de Especialidad Carlos Andrade Marín, 2020)

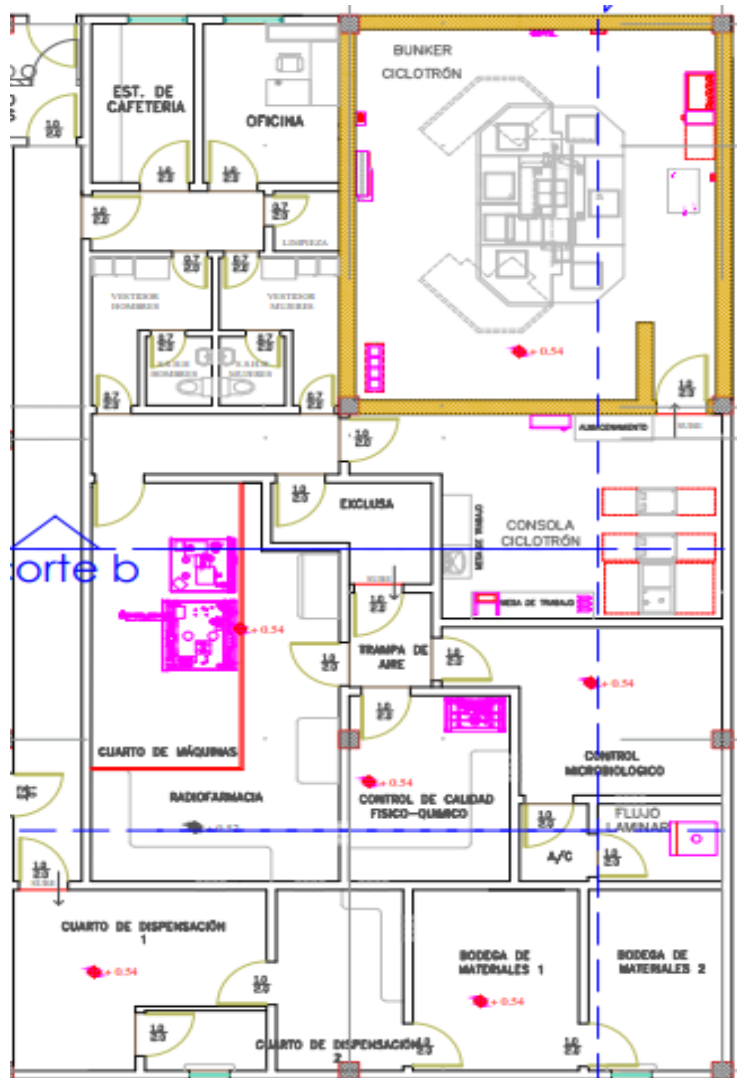


Figura 3-2: Plano del área de producción de radiofármacos de la Unidad Técnica PET Ciclotrón.

Fuente: (Hospital de Especialidad Carlos Andrade Marín, 2020)

2.4. Diseño y experimentación.

2.4.1. Cálculo de blindaje

A continuación, se presentan los datos de distancia fuente – barrera en cada una de las salas tanto de diagnóstico como de producción de radiofármacos.

➤ Diagnóstico.

2.4.1.1. Cuartos de inyección

Tabla 6-2: Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto de inyección N°1.

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,30m (0,50m Terraza)
A	Pared 1	Pasillo hacia la sala de reuniones	Concreto	0,84	0,20	1,34
B	Pared 2	Cuarto de inyección N°2	Concreto	1,51	0,20	2,01
C	Puerta	Pasillo en la sala de diagnóstico	Plomo	3,02	0,04	3,36
D	Pared 3	Pasillo en la sala de diagnóstico	Concreto	2,95	0,20	3,45
E	Pared 4	Sala de enfermería	Concreto	0,79	0,20	1,29
F	Techo	Terraza	Concreto	2,20	0,25	2,95

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020.

Tabla 7-2: Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto de inyección N°2.

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,30m (0,50m Terraza)
G	Pared 1	Pasillo hacia la sala de reuniones	Concreto	0,85	0,20	1,35
H	Pared 2	Cuarto de inyección N°3	Concreto	1,51	0,20	2,01
I	Puerta	Pasillo en la sala de diagnóstico	Plomo	3,01	0,04	3,35
J	Pared 3	Pasillo en la sala de diagnóstico	Concreto	2,95	0,20	3,45
K	Pared 4	Cuarto de inyección N°1	Concreto	0,79	0,20	1,29

L	Techo	Terraza	Concreto	2,20	0,25	2,95
----------	-------	---------	----------	------	------	------

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

Tabla 8-2: Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto de inyección N°3.

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,3m (0,5m Terraza)
M	Pared 1	Pasillo hacia la sala de reuniones	Concreto	0,85	0,20	1,35
N	Pared 2	Cuarto PEM	Concreto	1,51	0,20	2,01
O	Puerta	Pasillo en la sala de diagnóstico	Plomo	3,01	0,04	3,35
P	Pared 3	Pasillo en la sala de diagnóstico	Concreto	2,95	0,20	3,45
Q	Pared 4	Cuarto de inyección N°2	Concreto	0,79	0,20	1,29
R	Techo	Terraza	Concreto	2,20	0,25	2,95

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.1.2. Sala PEM

Tabla 9-2: Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto de equipo PEM.

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,30m (0,50m Terraza)
S	Pared 1	Cuarto de bombas	Concreto	1,37	0,20	1,87
T	Pared 2	Exteriores	Concreto	0,93	0,20	1,43
U	Pared 3	Oficinas de OSR	Concreto	5,33	0,20	5,83

V	Puerta	Pasillo en la sala de diagnóstico	Plomo	4,09	0,04	4,43
W	Pared 4	Cuarto de inyección N°3	Concreto	2,31	0,20	2,81
X	Techo	Terraza	Concreto	2,20	0,25	2,95

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.1.3. Baños N°1

Tabla 10-2: Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del baño N°1.

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,30m (0,50m Terraza)
Y	Pared 1	Sala de equipo PET/CT	Concreto	0,46	0,10	0,86
Z	Pared 2	Baño 2	Concreto	1,13	0,20	1,63
AB	Puerta	Pasillo en el área de diagnóstico	Plomo	1,16	0,04	1,50
AC	Pared 3	Pasillo en el área de diagnóstico	Concreto	0,94	0,20	1,44
AD	Techo	Terraza	Concreto	2,31	0,25	3,06

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020.

2.4.1.4. Baño N°2

Tabla 11-2: Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del baño N°2.

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,30m (0,50m Terraza)
AE	Pared 1	Sala de equipo PET/CT	Concreto	0,43	0,10	0,83
AF	Pared 2	Ingreso equipo PET/CT	Concreto	0,43	0,10	0,83

AG	Pared 3	Pasillo en el área de diagnóstico	Concreto	0,97	0,20	1,47
AH	Puerta	Pasillo en el área de diagnóstico	Plomo	1,24	0,04	1,58
AI	Pared 4	Baño 1	Concreto	1,08	0,20	1,58
AJ	Techo	Terraza	Concreto	2,31	0,25	3,06

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.1.5. Sala PET/CT

Tabla 12-2: Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto PET/CT.

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,30m (0,50m Terraza)
AK	Pared 1	Pasillo de diagnóstico	Concreto	6,41	0,10	6,81
AL	Pared 2	Consola del equipo PET/CT	Concreto	5,22	0,10	5,62
AM	Pared 3	Pasillo en el área de producción	Concreto	1,82	0,10	2,22
AN	Pared 4	Oficinas de OSR, cuarto de gases	Concreto	2,60	0,10	3,00
AO	Pared 5	Baños de pacientes	Concreto	3,22	0,10	3,62
AP	Puerta	Pasillo en el área de diagnóstico	Plomo	5,61	0,06	5,97
AQ	Techo	Terraza	Concreto	2,22	0,25	2,97

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.1.6. Cuarto caliente

Tabla 13-2: Distancias desde el paciente radiactivo hacia las paredes externas del cuarto caliente.

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,30m (0,50m Terraza)
AR	Pared 1	Sala de informes médicos	Concreto	1,70	0,20	2,20
AS	Pared 2	Pasillo de producción	Concreto	0,60	0,20	1,10
AT	Exclusa	Pasillo de producción	Vidrio plomado	0,72	0,01	1,03
AU	Pared 4	Pasillo de ingreso a producción	Concreto	1,25	0,20	1,75
AV	Puerta	Pasillo del área de diagnóstico	Plomo	3,52	0,04	3,86
AW	Pared 5	Consola de PET/CT	Concreto	2,93	0,20	3,43
AX	Techo	Terraza	Concreto	2,20	0,25	2,95

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

- Producción de radiofármacos.

2.4.1.7. Ciclotrón

Tabla 14-2: Distancias desde la fuente hacia las paredes externas del ciclotrón

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,30m (0,50m Terraza)
AY	Pared 1	Consola de ciclotrón	Concreto	4,34	0,35	4,99
AZ	Pared 2	Pasillo del baño de mujeres	Concreto	3,82	0,35	4,47
BA	Pared 3	Bodega de limpieza	Concreto	3,20	0,35	3,85

BC	Pared 4	Oficina de personal de producción	Concreto	4,05	0,35	4,70
BD	Pared 5	Exteriores	Concreto	4,34	0,35	4,99
BE	Pared 6	Exteriores	Concreto	4,21	0,35	4,86
BF	Techo	Terraza	Concreto	2,63	0,35	3,48

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.1.8. Laboratorio de Radiofarmacia

Tabla 15-2: Distancias desde la fuente hacia las paredes externas del laboratorio de radiofarmacia.

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,30m (0,50m Terraza)
BG	Pared 1	Puerta de ingreso en producción	Concreto	2,52	0,20	3,02
BH	Pared 2	Trampa de aire	Concreto	2,73	0,20	3,23
BI	Puerta	Trampa de aire	Plomo	3,01	0,04	3,35
BJ	Ventana	Control de calidad físico – químico	Vidrio plomado	3,77	0,01	4,08
BK	Exclusa	Control de calidad físico – químico	Vidrio plomado	5,69	0,01	6,00
BL	Exclusa	Despacho	Vidrio plomado	6,21	0,01	6,52
BM	Pared 3	Pasillo de despacho	Concreto	6,20	0,20	6,70
BN	Techo	Terraza	Concreto		0,25	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.1.9. Laboratorio de control de calidad

Tabla 16-2: Distancias desde la fuente hacia las paredes externas del laboratorio de control de calidad

PUNTOS	REFERENCIA	AREA COLINDANTE	MATERIAL DE BLINDAJE	DISTANCIA (m)	ESPESOR (m)	DISTANCIA (m) + 0,30m (0,50m Terraza)
BO	Puerta	Trampa de aire	Plomo	2,02	0,04	2,36
BP	Ventana	Control de calidad microbiológico	Vidrio plomado	0,62	0,01	0,93
BQ	Pared 1	Bodega de materiales	Concreto	3,80	0,20	4,30
BR	Exclusa	Materia Prima	Vidrio plomado	4,38	0,01	4,69
BS	Exclusa	Lab. Radiofarmacia	Vidrio plomado	3,81	0,01	4,12
BT	Ventana	Lab. Radiofarmacia	Vidrio plomado	2,73	0,01	3,04
BU	Pared 2	Lab. Radiofarmacia	Concreto	2,71	0,20	3,21
BV	Techo	Terraza	Concreto		0,25	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.2. Levantamiento radiométrico

De siguiente, se indican los valores de tasa de dosis máxima medidos en cada una de las salas de diagnóstico como de producción de radiofármacos. En cada tabla se muestra el valor máximo por barrera, sin embargo, el conjunto total de datos se encuentran en los anexos.

➤ Diagnóstico

2.4.2.1. Cuartos de inyección

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexos A, B, C, D, E y P*

Tabla 17-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos en el cuarto de inyección N°1

PUNTOS	A	B	C	D	E	F
VALOR MÁXIMO MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	0,88	0,43	1,41	0,45	0,55	0,14

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexos F, G, H, I, J y P*

Tabla 18-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos en el cuarto de inyección N°2

PUNTOS	G	H	I	J	K	L
VALOR MÁXIMO MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	0,93	0,55	1,98	0,51	1,24	0,14

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexos K, L, M, N, O y P*

Tabla 19-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos en el cuarto de inyección N°3

PUNTOS	M	N	O	P	Q	R
VALOR MÁXIMO MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	0,64	0,74	1,60	0,46	0,68	0,14

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.2.2. Sala de equipo PEM

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexos Q, R, S, T, U y V*

Tabla 20-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos en el cuarto PEM

PUNTOS	S	T	U	V	W	X
VALOR MÁXIMO MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	3,10	2,25	0,28	1,01	0,30	0,14

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.2.3. Baños de pacientes radiactivos

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexos W, X, Y, Z, AG*

Tabla 21-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos en el baño N°1

PUNTOS	Y	Z	AB	AC	AD
VALOR MÁXIMO					
MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	1,89	3,50	10,81	4,52	0,14

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexos AB, AC, AD, AE, AF y AG*

Tabla 22-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos en el baño N°2

PUNTOS	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
VALOR MÁXIMO						
MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	1,88	1,63	5,22	10,33	3,74	0,14

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.2.4. Sala de equipo PET/CT

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexos AH, AI, AJ, AK, AL, AM y AN*

Tabla 23-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos para PET

PUNTOS	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ
VALOR MÁXIMO							
MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	0,25	0,23	0,24	0,26	0,38	0,79	0,14

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexo AO.*

Tabla 24-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos para CT

PUNTOS	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ
VALOR MÁXIMO							
MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	0,70	1,45	0,53	0,61	3,85	5,35	0,30

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.2.5. Cuarto caliente

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexos AP, AQ, AR, AS, AT, AU y AV*

Tabla 25-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos en el cuarto caliente.

PUNTOS	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX
VALOR MÁXIMO MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	3,36	8,15	3,31	0,38	0,27	0,34	6,10

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

➤ Producción de radiofármacos.

2.4.2.6. Ciclotrón

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexo AW*

Tabla 26-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos en el ciclotrón

PUNTOS	AY	AZ	BA	BC	BD	BE	BF	BG
VALOR MÁXIMO MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	0,41	0,40	0,33	0,80	0,51	0,47	0,70	0,33

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.2.7. Laboratorio de radiofarmacia

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexo AX*

Tabla 27-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos en el laboratorio de radiofarmacia

PUNTOS	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP
VALOR MÁXIMO MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	0,30	0,39	0,33	2,03	2,24	0,63	0,35	0,63	0,37

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.4.2.8. Laboratorio de control de calidad

Se presenta los valores máximos de dosis en cada punto, para ver el conjunto total de datos, *ver anexo AY*

Tabla 28-2. Valores máximos de tasa de dosis medidos en el laboratorio de control de calidad.

PUNTOS	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY
VALOR MÁXIMO MEDIDO ($\mu\text{Sv/h}$)	0,48	0,36	2,68	0,60	0,20	0,65	4,17	0,34	0,30

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

2.5. Procedimiento experimental

2.5.1. Ecuaciones y cálculo para blindaje

Para el cálculo de blindaje se utiliza como referencia las ecuaciones del TG-108 de la AAPM, para encontrar el factor de transmisión (B), y de allí poder establecer recomendaciones para distintos tipos de barreras ya sean de concreto, plomo, madera, entre otros.

A continuación, se establecen las ecuaciones de cálculo para el área de diagnóstico:

$$B = \frac{10,9 * P * d^2}{T * N_W * A_O * t_U * R_{tU}} \quad (6)$$

$$R_{tU} = 1,443 * \frac{T_{1/2}}{t_U} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}}) \quad (7)$$

Reemplazamos la ecuación (7) en (6) y tenemos:

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})} \quad (8)$$

Donde,

7,55= Tasa de dosis del paciente sugerida por el TG-108 $\left[\frac{\text{MBq.h}}{\mu\text{Sv.m}^2} \right]$

P= Restricción de dosis $\left[\frac{\text{mSv}}{\text{sem}} \right]$

d^2 = Distancia fuente – barrera [m^2]

T= Factor de ocupación

N_W = Número de pacientes semanales $\left[\frac{\text{pac}}{\text{sem}} \right]$

A_O = Actividad suministrada [MBq]

$T_{1/2}$ = Periodo de semidesintegración del ^{18}F [h]

t_U =Tiempo de captación del radiofármaco [h]

Cabe recalcar que en la sección anterior se consideran para objeto de cálculo como salas de captación: cuartos de inyección, baños y cuarto caliente, en área de diagnóstico. En producción de radiofármacos: ciclotrón, radiofarmacia y control de calidad, tendrán la misma consideración.

La ecuación (8) es para el cálculo del *factor de transmisión para cuartos de inyección*. De forma similar de la ecuación (8) obtenemos la ecuación para los baños y cuarto caliente, para ello reemplazamos el tiempo de captación del radiofármaco t_U por el tiempo de micción para baños t_M y para cuarto caliente, cambiamos el t_U y N_W por el tiempo de dispensación t_D y número de dispensaciones N_D

Ecuación para cálculo de factor de transmisión para baños de pacientes radiactivos

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})} \quad (9)$$

Ecuación para cálculo de factor de transmisión para cuarto caliente

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_D}{T_{1/2}}})} \quad (10)$$

Para el área de producción, cambiamos de la ecuación (8), el número de dispensaciones N_D y tiempo de permanencia t_{Per} para radiofarmacia y finalmente el número de controles de calidad N_{CC} y el tiempo de control de calidad t_{CC} para el laboratorio de control de calidad.

Ecuación para cálculo de factor de transmisión para el laboratorio de radiofarmacia

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{Per}}{T_{1/2}}})} \quad (11)$$

Ecuación para cálculo de factor de transmisión para laboratorio de control de calidad

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_{CC} * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{CC}}{T_{1/2}}})} \quad (12)$$

Para realizar el cálculo de blindaje de ciclotrón hemos usado dos estudios de investigación, uno hecho en Australia, denominado ***“PRINCIPLE OF RADIOLOGICAL SHIELDING OF MEDICAL CYCLOTRONS”*** y otro realizado en Beijing por el Instituto de energía atómica de China, ***“RADIATION SHIELDING DESIGN FOR MEDICAL CYCLOTRON”***, de la cual se ha usado los valores de términos de fuente para FDG y la longitud de atenuación para concreto, acoplándola a consideraciones propias del ciclotrón de la Unidad Técnica PET Ciclotrón y haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$P = \frac{2,25 \times 10^{16} * I * H_o * e^{-\frac{X\rho}{\lambda}}}{d^2} \quad (13)$$

Donde,

P= Restricción de dosis $\left[\frac{uSv}{h}\right]$

d^2 = Distancia target – barrera $[m^2]$

$2,25 \times 10^{16}$ = Número de protones por hora $\left[\frac{prot}{h}\right]$

ρ =Densidad del concreto $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$

I= Intensidad de corriente del ciclotrón $[\mu A]$

H_o = Término de fuente para FDG $\left[\frac{uSv * m^2}{\mu A}\right]$

X= Espesor de barrera $[cm]$

λ =Longitud de atenuación para concreto $\left[\frac{g}{cm^2}\right]$

ρ =Densidad del concreto $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$

Para ello de la ecuación (13) debemos despejar **X** y así obtendremos la **ecuación para el cálculo de blindaje en el ciclotrón**, la ecuación es la siguiente:

$$X = -\frac{\lambda}{\rho} \text{Ln} \left[\frac{P * d^2}{2,25 \times 10^{16} * I * H_o} \right] \quad (14)$$

Para las salas de imagen tenemos:

$$B = \frac{12,8 * P * d^2}{T * N_W * A_O * F_U * t_I * R_{tI}} \quad (15)$$

$$R_{tI} = 1,443 * \frac{T_{1/2}}{t_I} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}}) \quad (16)$$

$$F_U = e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} \quad (17)$$

Reemplazamos (16) y (17) en (15) y obtenemos,

$$B = \frac{8,87 * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})} \quad (18)$$

La ecuación (18) es para el cálculo del **factor de transmisión para las salas de imagen**, es decir para PET/CT y PEM

2.5.2. Ecuaciones y cálculo, para levantamiento radiométrico

Para el estudio de levantamiento radiométrico no se cuenta con bibliografía exacta que establezca consideraciones para su cálculo, por ende, se ha sugerido ecuaciones semejantes a la indicada en el documento ARCAL XLIX para radiodiagnóstico, ajustándola al campo de la medicina nuclear y asumiendo consideraciones propias.

A consideración se exponen las ecuaciones de cálculo para el área de diagnóstico:

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * W \quad (19)$$

$$W = N_w * t_U \quad (20)$$

Reemplazando (20) en (19) y tenemos la **ecuación para cálculo de tasa de dosis en cuartos de inyección**:

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \quad (21)$$

Donde,

\dot{H}_{se} = Equivalente de dosis ambiental semanal a evaluar $\left[\frac{\mu Sv}{semana} \right]$

\dot{H}_{sm} = Equivalente de dosis ambiental medida $\left[\frac{\mu Sv}{h} \right]$

F_c = Factor de calibración

T = Factor de ocupación

U = Factor de uso

N_w = Número de pacientes por semana $\left[\frac{pac}{sem} \right]$

t_U = Tiempo de asimilación del radiofármaco en el paciente $\left[\frac{h}{pac} \right]$

Para los baños de pacientes radiactivos sustituimos de la ecuación (21) el t_U por el tiempo de micción t_M , mientras que para el cuarto caliente, cambiamos los términos N_w y t_U por el número de dispensaciones N_D y tiempo de dispensación t_D .

Ecuación para cálculo de tasa de dosis en baños de pacientes radiactivo

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \quad (22)$$

Ecuación para cálculo de tasa de dosis en cuarto caliente

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_D \quad (23)$$

Para la sala PEM, sustituimos de la ecuación (20) el t_U por el tiempo de imagen t_I

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_I \quad (24)$$

Para la sala PET/CT, debemos considerar los cálculos de dos maneras diferentes, primero para la parte PET y luego la CT. En la primera parte únicamente cambiamos de la ecuación (21) el t_U por el tiempo de imagen t_I

$$\dot{H}_{se1} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_W * t_I \quad (25)$$

Para la parte CT, hay que considerar una carga de trabajo de la siguiente forma:

$$W = S_W * N_W * I * t_E \quad (26)$$

Donde,

W = Carga de trabajo $\left[\frac{mAmin}{semana} \right]$

S_W = Número de escáner por paciente $\left[\frac{scan}{pac} \right]$

N_W = Número de pacientes semanales $\left[\frac{pac}{semana} \right]$

I = Intensidad de corriente [mA]

t_E = Tiempo de exposición por escáner $\left[\frac{min}{scan} \right]$

Luego utilizamos la siguiente ecuación para obtener su tasa de dosis:

$$\dot{H}_{se2} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * W}{\frac{60min}{h} * I} \quad (27)$$

Sustituimos (26) en (27) y obtenemos:

$$\dot{H}_{se2} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * S_W * N_W * I * t_E}{\frac{60min}{h} * I} \quad (28)$$

Reducimos (28) y obtenemos la ecuación para la parte CT

$$\dot{H}_{se2} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * S_W * N_W * t_E}{\frac{60min}{h}} \quad (29)$$

Para obtener **ecuación de la tasa de dosis total en la sala PET/CT** sumamos (25) y (29)

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{se1} + \dot{H}_{se2} \quad (30)$$

Para ciclotrón las consideraciones son diferentes, debido a que debemos considerar una carga de trabajo que depende de la intensidad del equipo, número de producciones, tiempo de producción y número de bombardeos

Ecuación para cálculo de tasa de dosis en ciclotrón

Para ciclotrón, hay que considerar una carga de trabajo de la siguiente forma:

$$W = B_P * N_P * I * t_B \quad (31)$$

Donde,

W = Carga de trabajo $\left[\frac{mAmin}{semana} \right]$

B_P = Número de bombardeos por producción $\left[\frac{bomb}{prod} \right]$

N_P = Número de producciones semanales $\left[\frac{prod}{semana}\right]$

I = Intensidad de corriente con la que produce el ciclotrón [mA]

t_B = Tiempo de producción por bombardeo $\left[\frac{min}{bomb}\right]$

Luego utilizamos la siguiente ecuación para obtener su tasa de dosis:

$$H_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * W}{\frac{60min}{h} * I} \quad (32)$$

Sustituimos (31) en (32) y obtenemos:

$$H_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * B_P * N_P * I * t_B}{\frac{60min}{h} * I} \quad (33)$$

Reducimos (33) y obtenemos la ecuación para ciclotrón

$$H_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * B_P * N_P * t_B}{\frac{60min}{h}} \quad (34)$$

Para los laboratorios tanto de radiofarmacia como de control de calidad, sustituimos de la ecuación (21) N_W y t_U por el tiempo de permanencia t_{per} y número de dispensaciones N_D y por el número de controles de calidad N_{CC} y tiempo de control de calidad t_{CC} .

Ecuación para cálculo de tasa de dosis en radiofarmacia

$$H_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_{per} \quad (35)$$

Ecuación para cálculo de tasa de dosis en el laboratorio de control de calidad.

$$H_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_{CC} * t_{CC} \quad (36)$$

Consideraciones para los cálculos:

- ✚ El factor de calibración del detector empleado, marca Thermo Scientific modelo Radye G-10, es de 1,01.
- ✚ El factor de calibración de la cámara de ionización utilizada, marca Ludlum, modelo 9DP, es de 1,10.
- ✚ El número de scans por pacientes es de 43 y el tiempo de exposición por scan es de 0,06 minutos para los estudios CT.

A continuación, se muestra tanto de cálculo de blindaje como de levantamiento radiométrico en toda la unidad técnica PET Ciclotrón del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín.

2.5.3. Cálculos de blindajes

2.5.3.1. Cuarto de inyección N°1

✓ Punto A

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,34m)^2}{0,20 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,37$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,37^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 10,47cm$$

$$x_{plomo} = 0,73 cm$$

✓ Punto B

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (2,01m)^2}{1 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,84$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,84^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 3,19 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,15 \text{ cm}$$

✓ Punto C

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,36m)^2}{0,50 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,94$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,94^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 1,40 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,06 \text{ cm}$$

✓ Punto D

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,45m)^2}{0,50 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,99$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539 \text{cm}^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,99^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 0,24 \text{cm}$$

$$x_{plomo} = 0,01 \text{cm}$$

✓ Punto E

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * 20 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{sem}} * (1,29\text{m})^2}{1 * 17 \frac{\text{pac}}{\text{sem}} * 370 \text{MBq} * 1,83\text{h} * (1 - e^{-0,693 \frac{1\text{h}}{1,83\text{h}}})}$$

$$B = 0,07$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539 \text{cm}^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,07^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 21,74 \text{cm}$$

$$x_{plomo} = 1,83 \text{cm}$$

✓ Punto F

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * 20 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{sem}} * (2,95\text{m})^2}{0,03 * 17 \frac{\text{pac}}{\text{sem}} * 370 \text{MBq} * 1,83\text{h} * (1 - e^{-0,693 \frac{1\text{h}}{1,83\text{h}}})}$$

$$B = 12,07$$

B>1, No requiere blindaje.

2.5.3.2. Cuarto de inyección N°2

✓ Punto G

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,35m)^2}{0,20 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,38$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539 cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,38^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161 cm^{-1}}{0,1539 cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161 cm^{-1}}{0,1539 cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 10,36 cm$$

$$x_{plomo} = 0,72 cm$$

✓ Punto H

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (2,01m)^2}{1 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,84$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,84^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 3,19 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,15 \text{ cm}$$

✓ Punto I

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,35m)^2}{0,50 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,93$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,93^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 1,51 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,06 \text{ cm}$$

✓ Punto J

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,45m)^2}{0,50 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,99$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539 \text{cm}^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,99^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = \mathbf{0,24 \text{ cm}}$$

$$x_{plomo} = \mathbf{0,01 \text{ cm}}$$

✓ Punto K

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * 100 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{sem}} * (1,29\text{m})^2}{1 * 17 \frac{\text{pac}}{\text{sem}} * 370 \text{MBq} * 1,83\text{h} * (1 - e^{-0,693 \frac{1\text{h}}{1,83\text{h}}})}$$

$$B = 0,35$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539 \text{cm}^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,35^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = \mathbf{11,01 \text{ cm}}$$

$$x_{plomo} = \mathbf{0,78 \text{ cm}}$$

✓ Punto L

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * 20 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{sem}} * (2,95\text{m})^2}{0,03 * 17 \frac{\text{pac}}{\text{sem}} * 370 \text{MBq} * 1,83\text{h} * (1 - e^{-0,693 \frac{1\text{h}}{1,83\text{h}}})}$$

$$B = 12,07$$

B>1, No requiere blindaje.

2.5.3.3. Cuarto de inyección N°3

✓ Punto M

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,35m)^2}{0,20 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,38$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539 cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,38^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161 cm^{-1}}{0,1539 cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161 cm^{-1}}{0,1539 cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 10,36 cm$$

$$x_{plomo} = 0,72 cm$$

✓ Punto N

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (2,01m)^2}{1 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,84$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,84^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 3,19 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,15 \text{ cm}$$

✓ Punto O

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,35m)^2}{0,50 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,93$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,93^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 1,51 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,06 \text{ cm}$$

✓ Punto P

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,45m)^2}{0,50 * 17 \frac{pac}{sem} * 370 MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,99$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539 \text{cm}^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,99^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = \mathbf{0,24 \text{cm}}$$

$$x_{plomo} = \mathbf{0,01 \text{cm}}$$

✓ Punto Q

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * 100 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{sem}} * (1,29\text{m})^2}{1 * 17 \frac{\text{pac}}{\text{sem}} * 370 \text{MBq} * 1,83\text{h} * (1 - e^{-0,693 \frac{1\text{h}}{1,83\text{h}}})}$$

$$B = 0,35$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539 \text{cm}^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,35^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161 \text{cm}^{-1}}{0,1539 \text{cm}^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = \mathbf{11,01 \text{cm}}$$

$$x_{plomo} = \mathbf{0,78 \text{cm}}$$

✓ Punto R

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_U}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{\text{MBq} \cdot \text{h}}{\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2} * 20 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{sem}} * (2,95\text{m})^2}{0,03 * 17 \frac{\text{pac}}{\text{sem}} * 370 \text{MBq} * 1,83\text{h} * (1 - e^{-0,693 \frac{1\text{h}}{1,83\text{h}}})}$$

$$B = 12,07$$

B>1, No requiere blindaje.

2.5.3.4. Sala PEM

✓ Punto S

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,87m)^2}{0,03 * 5 \frac{pac}{sem} * 185MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1,5h}{1,83h}})}$$

$$B = 41,17$$

B>1, No requiere blindaje.

✓ Punto T

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,43m)^2}{0,03 * 5 \frac{pac}{sem} * 185MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1,5h}{1,83h}})}$$

$$B = 24,07$$

B>1, No requiere blindaje.

✓ Punto U

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (5,83m)^2}{1 * 5 \frac{pac}{sem} * 185MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1,5h}{1,83h}})}$$

$$B = 12,00$$

B>1, No requiere blindaje.

✓ **Punto V**

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (4,43m)^2}{0,50 * 5 \frac{pac}{sem} * 185MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1,5h}{1,83h}})}$$

$$B = 13,86$$

B>1, No requiere blindaje.

✓ **Punto W**

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (2,81m)^2}{1 * 5 \frac{pac}{sem} * 185MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1,5h}{1,83h}})}$$

$$B = 13,94$$

B>1, No requiere blindaje.

✓ **Punto X**

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (2,95m)^2}{0,03 * 5 \frac{pac}{sem} * 185MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{1,5h}{1,83h}})}$$

$$B = 102,45$$

B>1, No requiere blindaje.

2.5.3.5. Baño N°1

✓ **Punto Y**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (0,86m)^2}{1 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 1,11$$

B>1, No requiere blindaje.

✓ **Punto Z**

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,63m)^2}{1 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 3,97$$

B>1, No requiere blindaje.

✓ **Punto AB**

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,50m)^2}{0,50 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 1,35$$

B>1, No requiere blindaje.

✓ **Punto AC**

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,44m)^2}{0,50 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 1,24$$

B>1, No requiere blindaje.

✓ **Punto AD**

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,06m)^2}{0,03 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 93,30$$

B>1, No requiere blindaje.

2.5.3.6. Baño N°2

➤ **Punto AE**

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (0,83m)^2}{1 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 1,03$$

B>1, No requiere blindaje.

➤ **Punto AF**

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (0,83m)^2}{1 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 1,03$$

B>1, No requiere blindaje.

➤ **Punto AG**

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$
$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,47m)^2}{0,50 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$
$$B = 1,29$$

B>1, No requiere blindaje.

➤ **Punto AH**

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$
$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,58m)^2}{0,50 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$
$$B = 1,49$$

B>1, No requiere blindaje.

➤ **Punto AI**

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$
$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,58m)^2}{1 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$
$$B = 3,73$$

B>1, No requiere blindaje.

➤ **Punto AJ**

$$B = \frac{7,55 * P * d^2}{T * N_W * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_M}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,06m)^2}{0,03 * 25 \frac{pac}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 93,30$$

B>1, No requiere blindaje.

2.5.3.7. Sala PET/CT

➤ Punto AK

$$B = \frac{8,87 * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (6,81m)^2}{0,50 * 50 \frac{pac}{sem} * 370MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,50h}{1,83h}})}$$

$$B = 4,11$$

B>1, No requiere blindaje.

➤ Punto AL

$$B = \frac{8,87 * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (5,62m)^2}{1 * 50 \frac{pac}{sem} * 370MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,50h}{1,83h}})}$$

$$B = 1,40$$

B>1, No requiere blindaje.

➤ Punto AM

$$B = \frac{8,87 * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (2,22m)^2}{0,50 * 50 \frac{pac}{sem} * 370MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,50h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,44$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,44^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 9,32 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,62 \text{ cm}$$

➤ Punto AN

$$B = \frac{8,87 * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,00m)^2}{1 * 50 \frac{pac}{sem} * 370MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,50h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,40$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,40^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 9,99 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,68 \text{ cm}$$

➤ Punto AO

$$B = \frac{8,87 * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,62m)^2}{1 * 50 \frac{pac}{sem} * 370MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,50h}{1,83h}})}$$

$$B = 2,91$$

B>1, No requiere blindaje.

➤ **Punto AP**

$$B = \frac{8,87 * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (5,97m)^2}{0,50 * 50 \frac{pac}{sem} * 370MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,50h}{1,83h}})}$$

$$B = 3,16$$

B>1, No requiere blindaje.

➤ **Punto AQ**

$$B = \frac{8,87 * P * d^2}{T * N_W * A_O * e^{-0,693 \frac{tU}{T_{1/2}}} * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tI}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{8,87 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (2,97m)^2}{0,03 * 50 \frac{pac}{sem} * 370MBq * e^{-0,693 \frac{1h}{1,83h}} * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,50h}{1,83h}})}$$

$$B = 13,04$$

B>1, No requiere blindaje.

2.5.3.8. Cuarto caliente

➤ **Punto AR**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{tD}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (2,20m)^2}{1 * 50 \frac{disp}{sem} * 1295MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,21$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,21^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 14,55 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 1,12 \text{ cm}$$

➤ Punto AS

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_D}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,10m)^2}{0,25 * 50 \frac{disp}{sem} * 1295MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,21$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,21^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 14,55 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 1,12 \text{ cm}$$

➤ Punto AT

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_D}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,03m)^2}{0,25 * 50 \frac{disp}{sem} * 1295MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,18$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,18^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 15,43 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 1,21 \text{ cm}$$

➤ Punto AU

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_0 * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_D}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (1,75m)^2}{0,25 * 50 \frac{disp}{sem} * 1295MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,52$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,52^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 7,92 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,50 \text{ cm}$$

➤ Punto AV

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_0 * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_D}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,86m)^2}{0,25 * 50 \frac{disp}{sem} * 1295MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 2,55$$

B>1, No requiere blindaje.

➤ **Punto AW**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_D}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,43m)^2}{1 * 50 \frac{disp}{sem} * 1295MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,50$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,50^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 8,24 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,53 \text{ cm}$$

➤ **Punto AX**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_D}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (2,95m)^2}{0,03 * 50 \frac{disp}{sem} * 1295MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,08h}{1,83h}})}$$

$$B = 12,39$$

B>1, No requiere blindaje.

2.5.3.9. Ciclotrón

Todos los valores de X son para valores de concreto y se hace uso de la ecuación (13)

➤ Punto AY

$$X = -\frac{\lambda}{\rho} \text{Ln} \left[\frac{P * d^2}{2,25 \times 10^{16} * I * H_o} \right]$$

$$X = -\frac{24,20 \frac{g}{cm^2}}{2,40 \frac{g}{cm^3}} \text{Ln} \left[\frac{0,50 \frac{\mu Sv}{h} * (5,14 \text{ m})^2}{2,25 \times 10^{16} \frac{prot}{h} * 70 \mu A * 118 \frac{\mu Sv \text{ m}^2}{\mu A}} \right]$$

$$X = 444,58 \text{ cm} * 0,10$$

$$X = \mathbf{44,46 \text{ cm}}$$

➤ Punto AZ

$$X = -\frac{\lambda}{\rho} \text{Ln} \left[\frac{P * d^2}{2,25 \times 10^{16} * I * H_o} \right]$$

$$X = -\frac{24,20 \frac{g}{cm^2}}{2,40 \frac{g}{cm^3}} \text{Ln} \left[\frac{0,50 \frac{\mu Sv}{h} * (4,62 \text{ m})^2}{2,25 \times 10^{16} \frac{prot}{h} * 70 \mu A * 86,80 \frac{\mu Sv \text{ m}^2}{\mu A}} \right]$$

$$X = 443,63 \text{ cm} * 0,10$$

$$X = \mathbf{44,36 \text{ cm}}$$

➤ Punto BA

$$X = -\frac{\lambda}{\rho} \text{Ln} \left[\frac{P * d^2}{2,25 \times 10^{16} * I * H_o} \right]$$

$$X = -\frac{24,20 \frac{g}{cm^2}}{2,40 \frac{g}{cm^3}} \text{Ln} \left[\frac{0,50 \frac{\mu Sv}{h} * (4,00 \text{ m})^2}{2,25 \times 10^{16} \frac{prot}{h} * 70 \mu A * 64,50 \frac{\mu Sv \text{ m}^2}{\mu A}} \right]$$

$$X = 443,55 \text{ cm} * 0,10$$

$$X = \mathbf{44,35 \text{ cm}}$$

➤ Punto BC

$$X = -\frac{\lambda}{\rho} \text{Ln} \left[\frac{P * d^2}{2,25 \times 10^{16} * I * H_o} \right]$$

$$X = -\frac{24,20 \frac{g}{cm^2}}{2,40 \frac{g}{cm^3}} \operatorname{Ln} \left[\frac{0,50 \frac{\mu Sv}{h} * (4,85 m)^2}{2,25 \times 10^{16} \frac{prot}{h} * 70 \mu A * 86,80 \frac{\mu Sv m^2}{\mu A}} \right]$$

$$X = 442,65 \text{ cm} * 0,10$$

$$X = 44,27 \text{ cm}$$

➤ **Punto BD**

$$X = -\frac{\lambda}{\rho} \operatorname{Ln} \left[\frac{P * d^2}{2,25 \times 10^{16} * I * H_o} \right]$$

$$X = -\frac{24,20 \frac{g}{cm^2}}{2,40 \frac{g}{cm^3}} \operatorname{Ln} \left[\frac{0,50 \frac{\mu Sv}{h} * (5,14 m)^2}{2,25 \times 10^{16} \frac{prot}{h} * 70 \mu A * 48 \frac{\mu Sv m^2}{\mu A}} \right]$$

$$X = 435,51 \text{ cm} * 0,10$$

$$X = 43,55 \text{ cm}$$

➤ **Punto BE**

$$X = -\frac{\lambda}{\rho} \operatorname{Ln} \left[\frac{P * d^2}{2,25 \times 10^{16} * I * H_o} \right]$$

$$X = -\frac{24,20 \frac{g}{cm^2}}{2,40 \frac{g}{cm^3}} \operatorname{Ln} \left[\frac{0,50 \frac{\mu Sv}{h} * (5,01 m)^2}{2,25 \times 10^{16} \frac{prot}{h} * 70 \mu A * 64,50 \frac{\mu Sv m^2}{\mu A}} \right]$$

$$X = 439,01 \text{ cm} * 0,10$$

$$X = 43,90 \text{ cm}$$

➤ **Punto BF**

$$X = -\frac{\lambda}{\rho} \operatorname{Ln} \left[\frac{P * d^2}{2,25 \times 10^{16} * I * H_o} \right]$$

$$X = -\frac{24,20 \frac{g}{cm^2}}{2,40 \frac{g}{cm^3}} \operatorname{Ln} \left[\frac{0,50 \frac{\mu Sv}{h} * (3,48 m)^2}{2,25 \times 10^{16} \frac{prot}{h} * 70 \mu A * 64,50 \frac{\mu Sv m^2}{\mu A}} \right]$$

$$X = 446,35 \text{ cm} * 0,10$$

$$X = 44,64 \text{ cm}$$

2.5.3.10. Radiofarmacia

➤ **Punto BG**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{Per}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,02m)^2}{0,20 * 60 \frac{disp}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,05h}{1,83h}})}$$

$$B = 9,04$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BH**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{Per}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,23m)^2}{0,20 * 60 \frac{disp}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,05h}{1,83h}})}$$

$$B = 10,34$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BI**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{Per}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,35m)^2}{0,20 * 60 \frac{disp}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,05h}{1,83h}})}$$

$$B = 11,12$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BJ**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{Per}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (4,08m)^2}{1 * 60 \frac{disp}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,05h}{1,83h}})}$$

$$B = 16,49$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BK**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{Per}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (6,00m)^2}{1 * 60 \frac{disp}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,05h}{1,83h}})}$$

$$B = 35,67$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BL**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{Per}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (6,52m)^2}{0,20 * 60 \frac{disp}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,05h}{1,83h}})}$$

$$B = 42,12$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BM**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{Per}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (6,70m)^2}{0,20 * 60 \frac{disp}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,05h}{1,83h}})}$$

$$B = 44,48$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BN**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_D * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{Per}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,38m)^2}{0,03 * 60 \frac{disp}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,05h}{1,83h}})}$$

$$B = 75,46$$

B>1, No requiere blindaje

2.5.3.11. Laboratorio de control de calidad

➤ **Punto BO**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_{CC} * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{CC}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (2,36m)^2}{0,20 * 5 \frac{cont}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,75h}{1,83h}})}$$

$$B = 5,02$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BP**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_{CC} * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{CC}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (0,93m)^2}{0,50 * 5 \frac{cont}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,75h}{1,83h}})}$$

$$B = 0,31$$

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

$$x_{concreto} = \frac{1}{0,1539cm^{-1} * 2,0752} \ln \left\{ \frac{\left[0,31^{-2,0752} + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{-0,1161cm^{-1}}{0,1539cm^{-1}} \right) \right]} \right\}$$

$$x_{concreto} = 11,75 \text{ cm}$$

$$x_{plomo} = 0,85 \text{ cm}$$

➤ **Punto BQ**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_{CC} * A_o * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{CC}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (4,30m)^2}{0,20 * 5 \frac{cont}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,75h}{1,83h}})}$$

$$B = 16,68$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BR**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_{CC} * A_o * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{CC}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (4,69m)^2}{0,20 * 5 \frac{cont}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,75h}{1,83h}})}$$

$$B = 19,84$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BS**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_{CC} * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{CC}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (4,12m)^2}{1 * 5 \frac{cont}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,75h}{1,83h}})}$$

$$B = 15,31$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BT**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_{CC} * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{CC}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,04m)^2}{1 * 5 \frac{cont}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,75h}{1,83h}})}$$

$$B = 8,34$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BU**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_{CC} * A_O * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{CC}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 100 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,21m)^2}{1 * 5 \frac{cont}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,75h}{1,83h}})}$$

$$B = 9,29$$

B>1, No requiere blindaje

➤ **Punto BV**

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * P * d^2}{T * N_{CC} * A_0 * T_{1/2} * (1 - e^{-0,693 \frac{t_{CC}}{T_{1/2}}})}$$

$$B = \frac{7,55 \frac{MBq \cdot h}{\mu Sv \cdot m^2} * 20 \frac{\mu Sv}{sem} * (3,38m)^2}{0,03 * 5 \frac{cont}{sem} * 370MBq * 1,83h * (1 - e^{-0,693 \frac{0,75h}{1,83h}})}$$

$$B = 68,70$$

B>1, No requiere blindaje

2.5.4. Levantamiento radiométrico

2.5.4.1. Cuarto de inyección N°1

Para todas sus barreras asumimos la ecuación (21) con sus respectivas consideraciones de cálculo

➤ Punto A

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U$$

$$\dot{H}_{se} = 0,88 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,2 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h$$

$$\dot{H}_{se} = 0,75 \frac{\mu Sv}{sem}$$

➤ Punto B

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U$$

$$\dot{H}_{se} = 0,43 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h$$

$$\dot{H}_{se} = 1,85 \frac{\mu Sv}{sem}$$

➤ Punto C

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U$$

$$\dot{H}_{se} = 1,41 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h$$

$$\dot{H}_{se} = 3,03 \frac{\mu Sv}{sem}$$

➤ Punto D

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U$$

$$\dot{H}_{se} = 0,45 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h$$

$$\dot{H}_{se} = 0,97 \frac{\mu Sv}{sem}$$

➤ **Punto E**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,55 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 2,36 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto F**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,14 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 1 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 0,07 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

2.5.4.2. Cuarto de inyección N°2

Para todas sus barreras asumimos la ecuación (21) con sus respectivas consideraciones de cálculo

➤ **Punto G**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,93 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,2 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 0,80 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto H**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,55 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 2,36 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto I**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 1,98 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 4,25 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto J**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,51 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 1,09 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto K**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 1,24 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 5,32 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto L**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,14 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 1 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 0,07 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

2.5.4.3. Cuarto de inyección N°3

Para todas sus barreras asumimos la ecuación (21) con sus respectivas consideraciones de cálculo

➤ **Punto M**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,64 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,2 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 0,55 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto N**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,74 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 3,18 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto O**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 1,60 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 3,43 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto P**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,46 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 0,99 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto Q**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,68 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 2,92 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto R**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_U \\ \dot{H}_{se} &= 0,14 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 1 * 17 \frac{pac}{sem} * 1h \\ \dot{H}_{se} &= 0,07 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

2.5.4.4. Cuarto PEM

Para todas sus barreras asumimos la ecuación (24) con sus respectivas consideraciones de cálculo

➤ **Punto S**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_I \\ \dot{H}_{se} &= 3,10 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 0,25 * 5 \frac{pac}{sem} * 1,5 h \\ \dot{H}_{se} &= 0,18 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto T**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_I \\ \dot{H}_{se} &= 2,25 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 0,25 * 5 \frac{pac}{sem} * 1,5 h \\ \dot{H}_{se} &= 0,13 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto U**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_I \\ \dot{H}_{se} &= 0,28 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 5 \frac{pac}{sem} * 1,5h \\ \dot{H}_{se} &= 0,53 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto V**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_I \\ \dot{H}_{se} &= 1,01 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 5 \frac{pac}{sem} * 1,5 h \\ \dot{H}_{se} &= 0,96 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto W**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_I \\ \dot{H}_{se} &= 0,30 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 5 \frac{pac}{sem} * 1,5h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{0,57 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto X**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_I \\ \dot{H}_{se} &= 0,14 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 1 * 5 \frac{pac}{sem} * 1,5h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{0,03 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

2.5.4.5. Baño N°1

Para todas sus barreras asumimos la ecuación (22) con sus respectivas consideraciones de cálculo

➤ **Punto Y**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 1,89 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{0,95 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto Z**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 3,50 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{1,77 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto AB**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 10,81 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{2,73 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto AC**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 4,52 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{1,14 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto AD**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 0,14 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 1 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{0,01 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

2.5.4.6. Baño N°2

Para todas sus barreras asumimos la ecuación (22) con sus respectivas consideraciones de cálculo

➤ **Punto AE**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 1,88 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{0,95 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto AF**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 1,63 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{0,82 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto AG**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 5,22 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{1,32 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto AH**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 10,33 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{2,61 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto AI**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 3,74 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{1,89 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto AJ**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_M \\ \dot{H}_{se} &= 0,14 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 1 * 25 \frac{pac}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{0,01 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

2.5.4.7. Cuarto PET/CT

Para todas sus barreras asumimos las ecuaciones (25) y (29) con sus respectivas consideraciones de cálculo, primero para PET y luego para CT, en cada uno de los puntos.

➤ **Punto AK**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se1} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_I \\ \dot{H}_{se1} &= 0,25 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 50 \frac{pac}{sem} * 0,5h \\ \dot{H}_{se1} &= 0,79 \frac{\mu Sv}{sem} \\ \dot{H}_{se2} &= \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * S_w * N_w * t_E}{\frac{60min}{h}} \\ \dot{H}_{se2} &= \frac{0,25 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 0,5 * 0,25 * 43 \frac{scan}{pac} * 50 \frac{pac}{sem} * 0,06 \frac{min}{scan}}{\frac{60min}{h}} \\ \dot{H}_{se2} &= 0,07 \frac{\mu Sv}{sem} \\ \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{se1} + \dot{H}_{se2} \\ \dot{H}_{se} &= 0,79 \frac{\mu Sv}{sem} + 0,07 \frac{\mu Sv}{sem} \\ \dot{H}_{se} &= \mathbf{0,86 \frac{\mu Sv}{sem}} \end{aligned}$$

➤ **Punto AL**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se1} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_I \\ \dot{H}_{se1} &= 0,23 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 50 \frac{pac}{sem} * 0,5h \\ \dot{H}_{se1} &= 1,45 \frac{\mu Sv}{sem} \\ \dot{H}_{se2} &= \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * S_w * N_w * t_E}{\frac{60min}{h}} \end{aligned}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{0,23 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 1 * 0,25 * 43 \frac{scan}{pac} * 50 \frac{pac}{sem} * 0,06 \frac{min}{scan}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = 0,14 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{se1} + \dot{H}_{se2}$$

$$\dot{H}_{se} = 1,45 \frac{\mu Sv}{sem} + 0,14 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = 1,59 \frac{\mu Sv}{sem}$$

➤ **Punto AM**

$$\dot{H}_{se1} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_l$$

$$\dot{H}_{se1} = 0,24 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 50 \frac{pac}{sem} * 0,5h$$

$$\dot{H}_{se1} = 0,76 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * S_w * N_w * t_E}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{0,24 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 0,5 * 0,25 * 43 \frac{scan}{pac} * 50 \frac{pac}{sem} * 0,06 \frac{min}{scan}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = 0,07 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{se1} + \dot{H}_{se2}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,76 \frac{\mu Sv}{sem} + 0,07 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,83 \frac{\mu Sv}{sem}$$

➤ **Punto AN**

$$\dot{H}_{se1} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_l$$

$$\dot{H}_{se1} = 0,26 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 50 \frac{pac}{sem} * 0,5h$$

$$\dot{H}_{se1} = 1,64 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * S_w * N_w * t_E}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{0,26 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 1 * 0,25 * 43 \frac{scan}{pac} * 50 \frac{pac}{sem} * 0,06 \frac{min}{scan}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = 0,15 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{se1} + \dot{H}_{se2}$$

$$\dot{H}_{se} = 1,64 \frac{\mu Sv}{sem} + 0,15 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = 1,79 \frac{\mu Sv}{sem}$$

➤ **Punto AO**

$$\dot{H}_{se1} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_l$$

$$\dot{H}_{se1} = 0,38 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 50 \frac{pac}{sem} * 0,5h$$

$$\dot{H}_{se1} = 2,40 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * S_w * N_w * t_E}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{0,38 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 1 * 0,25 * 43 \frac{scan}{pac} * 50 \frac{pac}{sem} * 0,06 \frac{min}{scan}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = 0,22 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{se1} + \dot{H}_{se2}$$

$$\dot{H}_{se} = 2,40 \frac{\mu Sv}{sem} + 0,22 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = 2,62 \frac{\mu Sv}{sem}$$

➤ **Punto AP**

$$\dot{H}_{se1} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_l$$

$$\dot{H}_{se1} = 0,79 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,5 * 0,25 * 50 \frac{pac}{sem} * 0,5h$$

$$\dot{H}_{se1} = 2,49 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * S_w * N_w * t_E}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{0,79 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 0,5 * 0,25 * 43 \frac{scan}{pac} * 50 \frac{pac}{sem} * 0,06 \frac{min}{scan}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = 0,23 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{se1} + \dot{H}_{se2}$$

$$\dot{H}_{se} = 2,49 \frac{\mu Sv}{sem} + 0,23 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = 2,72 \frac{\mu Sv}{sem}$$

➤ **Punto AQ**

$$\dot{H}_{se1} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_w * t_I$$

$$\dot{H}_{se1} = 0,14 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 1 * 50 \frac{pac}{sem} * 0,5h$$

$$\dot{H}_{se1} = 0,11 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * S_w * N_w * t_E}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = \frac{0,14 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 0,03 * 1 * 43 \frac{scan}{pac} * 50 \frac{pac}{sem} * 0,06 \frac{min}{scan}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se2} = 0,01 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{se1} + \dot{H}_{se2}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,11 \frac{\mu Sv}{sem} + 0,01 \frac{\mu Sv}{sem}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,12 \frac{\mu Sv}{sem}$$

2.5.4.8. Cuarto caliente

Para todas sus barreras asumimos la ecuación (23) con sus respectivas consideraciones de cálculo

➤ **Punto AR**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_D$$

$$\dot{H}_{se} = 3,36 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 50 \frac{dis}{sem} * 0,08h$$

$$\dot{H}_{se} = 3,39 \frac{\mu Sv}{sem}$$

➤ **Punto AS**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_D \\ \dot{H}_{se} &= 8,15 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,25 * 0,25 * 50 \frac{dis}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= 2,06 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto AT**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_D \\ \dot{H}_{se} &= 3,31 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,25 * 0,25 * 50 \frac{dis}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= 0,84 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto AU**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_D \\ \dot{H}_{se} &= 0,38 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,25 * 0,25 * 50 \frac{dis}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= 0,10 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto AV**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_D \\ \dot{H}_{se} &= 0,27 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,25 * 0,25 * 50 \frac{dis}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= 0,07 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto AW**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_D \\ \dot{H}_{se} &= 0,34 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 50 \frac{dis}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= 0,34 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

➤ **Punto AX**

$$\begin{aligned} \dot{H}_{se} &= \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_D \\ \dot{H}_{se} &= 6,10 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 1 * 50 \frac{dis}{sem} * 0,08h \\ \dot{H}_{se} &= 0,74 \frac{\mu Sv}{sem} \end{aligned}$$

2.5.4.9. *Ciclotrón*

Para ello asumimos la ecuación (34) con sus respectivas consideraciones de cálculo

➤ **Punto AY**

$$\dot{H}_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * B_P * N_P * t_B}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = \frac{0,41 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 1 * 0,25 * 1 \frac{bomb}{prod} * 5 \frac{prod}{sem} * 45 \frac{min}{bomb}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,42 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto AZ**

$$\dot{H}_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * B_P * N_P * t_B}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = \frac{0,40 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 1 * 0,25 * 1 \frac{bomb}{prod} * 5 \frac{prod}{sem} * 45 \frac{min}{bomb}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,41 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BA**

$$\dot{H}_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * B_P * N_P * t_B}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = \frac{0,33 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 0,25 * 0,25 * 1 \frac{bomb}{prod} * 5 \frac{prod}{sem} * 45 \frac{min}{bomb}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,09 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BC**

$$\dot{H}_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * B_P * N_P * t_B}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = \frac{0,80 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 0,03 * 0,25 * 1 \frac{bomb}{prod} * 5 \frac{prod}{sem} * 45 \frac{min}{bomb}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,02 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BD**

$$\dot{H}_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * B_P * N_P * t_B}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = \frac{0,51 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 0,50 * 0,25 * 1 \frac{bomb}{prod} * 5 \frac{prod}{sem} * 45 \frac{min}{bomb}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,26 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BE**

$$\dot{H}_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * B_P * N_P * t_B}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = \frac{0,47 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 0,03 * 0,25 * 1 \frac{bomb}{prod} * 5 \frac{prod}{sem} * 45 \frac{min}{bomb}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,01 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BF**

$$\dot{H}_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * B_P * N_P * t_B}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = \frac{0,70 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 0,03 * 0,25 * 1 \frac{bomb}{prod} * 5 \frac{prod}{sem} * 45 \frac{min}{bomb}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,02 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BG**

$$\dot{H}_{se} = \frac{\dot{H}_{sm} * F_c * T * U * B_P * N_P * t_B}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = \frac{0,33 \frac{\mu Sv}{h} * 1,10 * 0,03 * 1 * 1 \frac{bomb}{prod} * 5 \frac{prod}{sem} * 45 \frac{min}{bomb}}{\frac{60min}{h}}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,04 \frac{\mu Sv}{h}$$

2.5.4.10. *Radiofarmacia*

Para ello asumimos la ecuación (35) con sus respectivas consideraciones de cálculo

➤ **Punto BH**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_{per}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,30 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,20 * 0,25 * 60 \frac{disp}{sem} * \frac{0,05 h}{disp}$$

$$H_{se} = 0,05 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BI**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_{per}$$

$$H_{se} = 0,39 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,20 * 0,25 * 60 \frac{disp}{sem} * \frac{0,05 h}{disp}$$

$$H_{se} = 0,06 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BJ**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_{per}$$

$$H_{se} = 0,33 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,20 * 0,25 * 60 \frac{disp}{sem} * \frac{0,05 h}{disp}$$

$$H_{se} = 0,05 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BK**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_{per}$$

$$H_{se} = 2,03 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,20 * 0,25 * 60 \frac{disp}{sem} * \frac{0,05 h}{disp}$$

$$H_{se} = 0,31 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BL**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_{per}$$

$$H_{se} = 2,24 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 60 \frac{disp}{sem} * \frac{0,05 h}{disp}$$

$$H_{se} = 1,70 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BM**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_{per}$$

$$H_{se} = 0,63 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 60 \frac{disp}{sem} * \frac{0,05 h}{disp}$$

$$H_{se} = 0,48 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BN**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_{per}$$

$$H_{se} = 0,35 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,20 * 0,25 * 60 \frac{disp}{sem} * \frac{0,05 h}{disp}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,05 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BO**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_{per}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,63 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,20 * 0,25 * 60 \frac{disp}{sem} * \frac{0,05 h}{disp}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,10 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BP**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_D * t_{per}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,37 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,03 * 1 * 60 \frac{disp}{sem} * \frac{0,05 h}{disp}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,03 \frac{\mu Sv}{h}$$

2.5.4.11. Laboratorio de control de calidad

Consideramos en todas las barreras la ecuación (36) con sus respectivas consideraciones

➤ **Punto BQ**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_{CC} * t_{CC}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,48 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,20 * 0,25 * 5 \frac{cont}{sem} * \frac{0,75 h}{cont}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,09 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BR**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_{CC} * t_{CC}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,36 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,20 * 0,25 * 5 \frac{cont}{sem} * \frac{0,75 h}{cont}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,07 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BS**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_{CC} * t_{CC}$$

$$\dot{H}_{se} = 2,68 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,50 * 0,25 * 5 \frac{cont}{sem} * \frac{0,75 h}{cont}$$

$$\dot{H}_{se} = 1,27 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BT**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_{CC} * t_{CC}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,60 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,20 * 0,25 * 5 \frac{cont}{sem} * \frac{0,75 h}{cont}$$

$$H_{se} = 0,11 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BU**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_{CC} * t_{CC}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,20 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,20 * 0,25 * 5 \frac{cont}{sem} * \frac{0,75 h}{cont}$$

$$H_{se} = 0,04 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BV**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_{CC} * t_{CC}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,65 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 5 \frac{cont}{sem} * \frac{0,75 h}{cont}$$

$$H_{se} = 0,62 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BW**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_{CC} * t_{CC}$$

$$\dot{H}_{se} = 4,17 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 5 \frac{cont}{sem} * \frac{0,75 h}{cont}$$

$$H_{se} = 3,95 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BX**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_{CC} * t_{CC}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,34 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 1 * 0,25 * 5 \frac{cont}{sem} * \frac{0,75 h}{cont}$$

$$H_{se} = 0,32 \frac{\mu Sv}{h}$$

➤ **Punto BY**

$$\dot{H}_{se} = \dot{H}_{sm} * F_c * T * U * N_{CC} * t_{CC}$$

$$\dot{H}_{se} = 0,30 \frac{\mu Sv}{h} * 1,01 * 0,025 * 1 * 5 \frac{cont}{sem} * \frac{0,75 h}{cont}$$

$$H_{se} = 0,03 \frac{\mu Sv}{h}$$

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran las tablas de resultados, tanto de cálculo de blindaje como de levantamiento radiométrico en el área de diagnóstico y producción de radiofármacos de la Unidad Técnica PET Ciclotrón. En el cálculo de blindaje hay ciertas barreras que no requieren blindaje (N/R), debido a que poseen un factor de transmisión mayor a 1, por ende no requieren reforzamiento.

3.1. Cálculo de blindaje

Tabla 1-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto de inyección N°1.

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR EN CONCRETO (cm)	ESPESOR CALCULADO (cm)		CUMPLE
				Concreto	Plomo	
A	Pared 1	Pasillo hacia sala de reuniones	20	10,47	0,73	Sí
B	Pared 2	Cuarto de inyección N°2	20	3,19	0,15	Sí
C	Puerta	Pasillo/Diagnóstico	Madera	1,40	0,06	---
D	Pared 3	Pasillo/Diagnóstico	20	0,24	0,01	Sí
E	Pared 4	Enfermería	20	17,20	1,38	Sí
F	Techo	Terraza	25	N/R	N/R	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 35-3, se muestra una comparación entre los espesores que posee el cuarto de inyección N°1 y el espesor que se estima debe tener para atenuar la radiación, para concreto, todas las barreras cumplen, en el punto C que corresponde a la puerta, no se puede verificar su cumplimiento debido a que la estimación calculada no está hecha para madera, es por ello que se requiere del levantamiento radiométrico para verificar la tasa de dosis que hay en ese punto, si la dosis no sobrepasa la restricción, se garantiza que el espesor de madera es el adecuado.

Tabla 2-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto de inyección N°2.

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR EN CONCRETO (cm)	ESPESOR CALCULADO (cm)		CUMPLE
				Concreto	Plomo	
G	Pared 1	Pasillo hacia sala de reuniones	20	10,36	0,72	Sí
H	Pared 2	Cuarto de inyección N°3	20	3,19	0,15	Sí
I	Puerta	Pasillo/Diagnóstico	Madera	1,51	0,06	---

J	Pared 3	Pasillo/Diagnóstico	20	0,24	0,01	Sí
K	Pared 4	Cuarto de inyección N°1	20	11,01	1,78	Sí
L	Techo	Terraza	25	N/R	N/R	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 36-3, se muestra una comparación entre los espesores que posee el cuarto de inyección N°2 y el espesor que se estima debe tener para atenuar la radiación, para concreto, todas las barreras cumplen. En el punto I que corresponde a la puerta, se requiere del levantamiento radiométrico para verificar la tasa de dosis que hay en ese punto, si la dosis no sobrepasa la restricción, se garantiza que el espesor de madera es el adecuado.

Tabla 3-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto de inyección N°3.

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR EN CONCRETO (cm)	ESPESOR CALCULADO (cm)		CUMPLE
				Concreto	Plomo	
M	Pared 1	Pasillo hacia sala de reuniones	20	10,36	0,72	Sí
N	Pared 2	Sala de equipo PEM	20	3,19	0,15	Sí
O	Puerta	Pasillo/Diagnóstico	Madera	1,51	0,06	---
P	Pared 3	Pasillo/Diagnóstico	20	0,24	0,01	Sí
Q	Pared 4	Cuarto de inyección N°2	20	11,01	0,78	Sí
R	Techo	Terraza	25	N/R	N/R	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 37-3, se muestra una comparación entre los espesores que posee el cuarto de inyección N°3 y el espesor que se estima debe tener para atenuar la radiación, para concreto, todas las barreras cumplen. El punto O que corresponde a la puerta, requiere del levantamiento radiométrico para verificar que la tasa de dosis no sobrepase la restricción, con ello se garantiza que el espesor de madera es el adecuado.

Tabla 4-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto PEM

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR EN CONCRETO (cm)	ESPESOR CALCULADO (cm)		CUMPLE
				Concreto	Plomo	
S	Pared 1	Cuarto de bombas	20	N/R	N/R	Sí
T	Pared 2	Exteriores	20	N/R	N/R	Sí
U	Pared 3	Oficina OSR	20	N/R	N/R	Sí
V	Puerta	Pasillo/Diagnóstico	Madera	N/R	N/R	Sí
W	Pared 4	Cuarto de inyección N°3	20	N/R	N/R	Sí

<i>X</i>	Techo	Terraza	25	N/R	N/R	Sí
----------	-------	---------	----	-----	-----	----

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 38-3, se muestra que el cuarto PEM no requiere blindaje, esto debido a la poca actividad que se maneja para sus estudios, las distancias y la carga de trabajo. El punto V que corresponde a la puerta, requiere del levantamiento radiométrico para verificar que la tasa de dosis no sobrepase la restricción, con ello se garantiza que el espesor de madera es el adecuado. Sin embargo, todas las barreras cumplen, esto significa que los valores de tasa de dosis en el levantamiento radiométrico también deben ser bajos en comparación con la restricción de dosis

Tabla 5-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del baño N°1

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR EN CONCRETO (cm)	ESPESOR CALCULADO (cm)		CUMPLE
				<i>Concreto</i>	<i>Plomo</i>	
<i>Y</i>	Pared 1	Sala de equipo PET/CT	10	N/R	N/R	Sí
<i>Z</i>	Pared 2	Baño N°2	20	N/R	N/R	Sí
<i>AB</i>	Puerta	Pasillo/Diagnóstico	Madera	N/R	N/R	---
<i>AC</i>	Pared 3	Pasillo/Diagnóstico	20	N/R	N/R	Sí
<i>AD</i>	Techo	Terraza	25	N/R	N/R	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 39-3, se muestra que el baño N°1, no requiere blindaje, todas las barreras cumplen. El punto AB correspondiente a la puerta no es comparado debido a que no hay estimación para madera. El levantamiento radiométrico corroborará estos resultados.

Tabla 6-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del baño N°2

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR EN CONCRETO (cm)	ESPESOR CALCULADO (cm)		CUMPLE
				<i>Concreto</i>	<i>Plomo</i>	
<i>AE</i>	Pared 1	Sala de equipo PET/CT	10	N/R	N/R	Sí
<i>AF</i>	Pared 2	Ingreso a equipo PET/CT	10	N/R	N/R	Sí
<i>AG</i>	Pared 3	Pasillo/Diagnóstico	20	N/R	N/R	Sí
<i>AH</i>	Puerta	Pasillo/Diagnóstico	Madera	N/R	N/R	---
<i>AI</i>	Pared 4	Baño N°1	20	N/R	N/R	Sí
<i>AJ</i>	Techo	Terraza	25	N/R	N/R	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 40-3, se muestra que el baño N°2 no requiere blindaje, todas las barreras cumplen. El punto AH correspondiente a la puerta no es comparado debido a que no hay estimación para madera. El levantamiento radiométrico corroborará estos resultados.

Tabla 7-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto PET/CT

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR EN CONCRETO (cm)	ESPESOR CALCULADO (cm)		CUMPLE
				Concreto	Plomo	
AK	Pared 1	Pasillo/Diagnóstico	10	N/R	N/R	Sí
AL	Pared 2	Consola PET/CT	10	N/R	N/R	Sí
AM	Pared 3	Pasillo/Producción	20	9,32	0,62	Sí
AN	Pared 4	Oficina OSR	10	9,99	0,68	Sí
AO	Pared 5	Baño N°1 y Baño N°2	10	N/R	N/R	Sí
AP	Puerta	Pasillo/Diagnóstico	6 Pb y madera	N/R	N/R	Sí
AQ	Techo	Terraza	25	N/R	N/R	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 41-3, se muestra que en el cuarto PET/CT las barreras no requieren blindaje, sin embargo el punto AN cumple, pese a tener un espesor parecido al calculado. Para el punto AP correspondiente a la puerta posee 6 mm de Pb y 54 mm de madera, dicha barrera cumple debido a la distancia que se encuentra del equipo. El levantamiento radiométrico verificará la tasa de dosis que hay en dichos puntos, si la dosis no sobrepasa la restricción, se garantiza la seguridad radiológica.

Tabla 8-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del cuarto caliente

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR EN CONCRETO (cm)	ESPESOR CALCULADO (cm)		CUMPLE
				Concreto	Plomo	
AR	Pared 1	Sala de informes médicos	20	14,55	1,12	Sí
AS	Pared 2	Pasillo/Producción	20	14,55	1,12	Sí
AT	Esclusa	Pasillo/Producción	1 vidrio	15,43	1,21	---
AU	Pared 3	Pasillo de ingreso	20	7,92	0,50	Sí
AV	Puerta	Pasillo/Diagnóstico	Madera	N/R	N/R	---
AW	Pared 4	Consola PET/CT	20	8,24	0,53	Sí
AX	Techo	Terraza	25	N/R	N/R	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 42-3, se muestra una comparación entre los espesores que posee el cuarto caliente y el espesor que se estima debe tener para atenuar la radiación, para concreto, todas las barreras

cumplen, pese a tener un espesor parecido al calculado. La esclusa punto **AT** es vidrio por ende no se puede establecer una comparación directa entre el espesor que posee y el calculado. Algo similar ocurre en el punto **AV**, que es la puerta de madera, para ello se requiere el levantamiento radiométrico y verificar si la tasa de dosis no supera a la restricción en dichos puntos.

Tabla 9-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del ciclotrón

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR	ESPESOR		CUMPLE
			EN CONCRETO (cm)	CALCULADO CONCRETO (cm)		
AY	Pared 1	Consola de ciclotrón	50	44,46		Sí
AZ	Pared 2	Pasillo del baño de mujeres	50	44,36		Sí
BA	Pared 3	Bodega de limpieza	50	44,35		Sí
BC	Pared 4	Oficina de Ing. Químicos	50	44,27		Sí
BD	Pared 5	Exteriores	50	43,55		Sí
BE	Pared 6	Exteriores	50	43,90		Sí
BF	Techo	Terraza	25	44,64		No

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 43-3, se muestra una comparación entre los espesores que posee el cuarto del ciclotrón y el espesor que se estima debe tener para atenuar la radiación, se indica que todas las barreras cumplen pese a tener valores similares del blindaje calculado el único punto que no cumple es el techo, cabe mencionar que este incumplimiento no afecta la protección radiológica debido a que no existe un tránsito de personas en esa área, solo en casos de mantenimiento únicamente. Sin embargo se requiere el levantamiento radiométrico para verificar que la tasa de dosis en ese punto no supera a la restricción.

Tabla 10-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del laboratorio de radiofarmacia

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR EN	ESPESOR		CUMPLE
			CONCRETO (cm)	CALCULADO (cm)		
				<i>Concreto</i>	<i>Plomo</i>	
BG	Pared 1	Puerta de ingreso en producción	20	N/R	N/R	Sí
BH	Pared 2	Trampa de aire	20	N/R	N/R	Sí
BI	Puerta	Trampa de aire	Madera	N/R	N/R	---
BJ	Ventana	Control de calidad	1 vidrio	N/R	N/R	---
BK	Esclusa	Control de calidad	1 vidrio	N/R	N/R	---
BL	Esclusa	Despacho	1 vidrio	N/R	N/R	---

BM	Pared 3	Pasillo - despacho	20	N/R	N/R	Sí
BN	Techo	Terraza	25	N/R	N/R	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 44-3, se muestra que todas las barreras del laboratorio de radiofarmacia no requieren blindaje. Los puntos **BI, BJ, BK, y BL**, no se los puede comparar debido a que no se realizó la estimación en madera y en vidrio. El levantamiento radiométrico validará el blindaje en dichos puntos.

Tabla 11-3. Comparación entre el blindaje actual y el calculado en todas las barreras del laboratorio de control de calidad

PUNTOS	REFERENCIA	ÁREA COLINDANTE	ESPESOR EN CONCRETO (cm)	ESPESOR CALCULADO (cm)		CUMPLE
				Concreto	Plomo	
BO	Puerta	Trampa de aire	Madera	N/R	N/R	---
BP	Ventana	Control de calidad microbiológico	1 vidrio	11,75	0,85	---
BQ	Pared 1	Bodega de materiales	20	N/R	N/R	Sí
BR	Esclusa	Materia prima	1 vidrio	N/R	N/R	---
BS	Esclusa	Lab. Radiofarmacia	1 vidrio	N/R	N/R	---
BT	Ventana	Lab. Radiofarmacia	1 vidrio	N/R	N/R	---
BU	Pared 2	Lab. Radiofarmacia	20	N/R	N/R	Sí
BV	Techo	Terraza	25	N/R	N/R	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla 45-3, se muestra que todas las barreras del laboratorio de control de calidad no requieren blindaje. Exceptuando los puntos **BO, BP, BR, BS y BT**, debido a que no se realizó la estimación en dichos materiales, para ello es necesario evaluar la tasa de dosis con el levantamiento radiométrico en dichos puntos y verificar que no superen la restricción de dosis.

3.2. Levantamiento radiométrico

Tabla 12-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto de inyección N°1.

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA (μSv/sem)	RESTRICCIÓN DE DOSIS (μSv/sem)	CUMPLE
A	Pasillo hacia la sala de reuniones	No Controlada	0,76	20	Sí
B	Cuarto de inyección N°2	Controlada	1,85	100	Sí

<i>C</i>	Pasillo en la sala de diagnóstico	No Controlada	3,03	20	Sí
<i>D</i>	Pasillo en la sala de diagnóstico	No Controlada	0,97	20	Sí
<i>E</i>	Sala de enfermería	No Controlada	2,36	20	Sí
<i>F</i>	Terraza	No Controlada	0,07	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°46-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, el punto C que corresponde a la puerta del cuarto de inyección es donde hay mayor tasa de dosis, sin embargo, todo el cuarto N°1 garantiza la seguridad radiológica.

Tabla 13-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto de inyección N°2.

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA (μSv/sem)	RESTRICCIÓN DE DOSIS (μSv/sem)	CUMPLE
<i>G</i>	Pasillo hacia sala de reuniones	No Controlada	0,80	20	Sí
<i>H</i>	Cuarto de inyección N°3	Controlada	2,36	100	Sí
<i>I</i>	Pasillo en la sala de diagnóstico	No Controlada	4,25	20	Sí
<i>J</i>	Pasillo en la sala de diagnóstico	No Controlada	1,09	20	Sí
<i>K</i>	Cuarto de inyección N°1	Controlada	5,32	100	Sí
<i>L</i>	Terraza	No Controlada	0,07	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°47-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, el punto K que corresponde a la pared colindante con el cuarto de inyección N°1 es donde hay mayor tasa de dosis, sin embargo, todo el cuarto N°2 garantiza la seguridad radiológica.

Tabla 14-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto de inyección N°3.

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA (μSv/sem)	RESTRICCIÓN DE DOSIS (μSv/sem)	CUMPLE
<i>M</i>	Pasillo hacia sala de reuniones	No Controlada	0,55	20	Sí

<i>N</i>	Cuarto PEM	Controlada	3,18	100	Sí
<i>O</i>	Pasillo a la sala de diagnóstico	No Controlada	3,43	20	Sí
<i>P</i>	Pasillo a la sala de diagnóstico	No Controlada	0,99	20	Sí
<i>Q</i>	Cuarto de inyección N°2	Controlada	2,92	100	Sí
<i>R</i>	Terraza	No Controlada	0,07	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°48-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, el punto N y punto O que corresponden a la pared colindante con PEM y a la puerta del cuarto de inyección es donde hay mayor tasa de dosis, sin embargo, todo el cuarto N°3 garantiza la seguridad radiológica.

Tabla 15-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto de diagnóstico PEM

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA (µSv/sem)	RESTRICCIÓN DE DOSIS (µSv/sem)	CUMPLE
<i>S</i>	Cuarto de bombas	No Controlada	0,18	20	Sí
<i>T</i>	Exteriores	No Controlada	0,13	20	Sí
<i>U</i>	Oficinas OSR	No Controlada	0,53	20	Sí
<i>V</i>	Pasillo a la sala de diagnóstico	No Controlada	0,96	20	Sí
<i>W</i>	Cuarto de inyección N°3	Controlada	0,57	100	Sí
<i>X</i>	Terraza	No Controlada	0,03	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°49-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, y, además, el punto V, que es la puerta del cuarto PEM, es donde hay mayor dosis, sin embargo, la dosis no es muy elevada debido a que la ubicación del equipo es alejada a las barreras, por ello todo el cuarto garantiza la seguridad radiológica.

Tabla 16-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras del baño N°1 de pacientes radiactivos

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA (µSv/sem)	RESTRICCIÓN DE DOSIS (µSv/sem)	CUMPLE
<i>Y</i>	Sala de equipo PET / CT	Controlada	0,95	100	Sí
<i>Z</i>	Baño N°2	Controlada	1,77	100	Sí
<i>AB</i>	Pasillo a la sala de diagnóstico	No Controlada	2,73	20	Sí
<i>AC</i>	Pasillo a la sala de diagnóstico	No Controlada	1,14	20	Sí
<i>AD</i>	Terraza	No Controlada	0,01	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°50-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, el punto AB que corresponde a la puerta del baño N°1 es donde hay mayor tasa de dosis, sin embargo, todo el baño N°1 garantiza la seguridad radiológica.

Tabla 17-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras del baño N°2 de pacientes radiactivos

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA (µSv/sem)	RESTRICCIÓN DE DOSIS (µSv/sem)	CUMPLE
<i>AE</i>	Sala de equipo PET/CT	Controlada	0,95	100	Sí
<i>AF</i>	Ingreso al equipo PET/CT	Controlada	0,82	100	Sí
<i>AG</i>	Pasillo a la sala de diagnóstico	No Controlada	1,32	20	Sí
<i>AH</i>	Pasillo a la sala de diagnóstico	No Controlada	2,61	20	Sí
<i>AI</i>	Baño N°1	Controlada	1,89	100	Sí
<i>AJ</i>	Terraza	No Controlada	0,01	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°51-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, el punto AH que corresponde a la puerta del baño N°2 es donde hay mayor tasa de dosis, sin embargo, todo el baño N°2 garantiza la seguridad radiológica.

Tabla 18-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras de la sala de equipo PET/CT

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA (μSv/sem)	RESTRICCIÓN DE DOSIS (μSv/sem)	CUMPLE
AK	Pasillo a la sala de diagnóstico	No Controlada	0,86	20	Sí
AL	Consola de PET/CT	No Controlada	1,58	20	Sí
AM	Pasillo a la sala de producción	No Controlada	0,83	20	Sí
AN	Oficina de OSR	No Controlada	1,79	20	Sí
AO	Baño N°1 y N°2	Controlada	2,62	100	Sí
AP	Pasillo a la sala de diagnóstico	No Controlada	2,72	20	Sí
AQ	Terraza	No Controlada	0,12	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°52-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, los puntos AO y AP que corresponden a la pared colindante con los baños N° 1, N°2 y con la puerta de ingreso a PET/CT, son los que presentan la mayor tasa de dosis, sin embargo, todo el cuarto PET/CT garantiza la seguridad radiológica

Tabla 19-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto caliente

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA (μSv/sem)	RESTRICCIÓN DE DOSIS (μSv/sem)	CUMPLE
AR	Sala de informes médicos	No Controlada	3,39	20	Sí
AS	Pasillo a la sala de producción	No Controlada	2,06	20	Sí
AT	Pasillo a la sala de producción	No Controlada	0,84	20	Sí
AU	Pasillo a la sala de ingreso de producción	No Controlada	0,10	20	Sí
AV	Pasillo a la sala de diagnóstico	No Controlada	0,07	20	Sí
AW	Consola PET/CT	No Controlada	0,34	20	
AX	Terraza	No Controlada	0,74	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°53-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, el punto AR que corresponde a la pared colindante con la sala de informes médicos es donde hay mayor tasa de dosis, sin embargo, todo el cuarto caliente garantiza la seguridad radiológica.

Tabla 20-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras del cuarto de ciclotrón

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA ($\mu\text{Sv/sem}$)	RESTRICCIÓN DE DOSIS ($\mu\text{Sv/sem}$)	CUMPLE
<i>AY</i>	Consola de ciclotrón	No Controlada	0,42	20	Sí
<i>AZ</i>	Consola de ciclotrón	No Controlada	0,41	20	Sí
<i>BA</i>	Pasillo a del baño de mujeres	No Controlada	0,09	20	Sí
<i>BC</i>	Bodega de limpieza	No Controlada	0,02	20	Sí
<i>BD</i>	Oficina de Ing. Químico	No Controlada	0,53	20	Sí
<i>BE</i>	Exteriores	No Controlada	0,01	20	Sí
<i>BF</i>	Exteriores	No Controlada	0,02	20	Sí
<i>BG</i>	Terraza	No Controlada	0,04	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°54-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, el punto BD que corresponde a la oficina de los ingenieros químicos es donde hay mayor tasa de dosis, sin embargo la tasa de dosis no es muy elevada debido a que el equipo posee un autoblandaje, a más del estructural, por todo ello el cuarto del ciclotrón garantiza la seguridad radiológica.

Tabla 21-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras del laboratorio de radiofarmacia

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA ($\mu\text{Sv/sem}$)	RESTRICCIÓN DE DOSIS ($\mu\text{Sv/sem}$)	CUMPLE
<i>BH</i>	Cuarto de máquinas	No Controlada	0,02	20	Sí
<i>BI</i>	Pasillo de producción	No Controlada	0,05	20	Sí
<i>BJ</i>	Puerta de ingreso en producción	No Controlada	0,06	20	Sí
<i>BK</i>	Trampa de aire	No Controlada	0,05	20	Sí
<i>BL</i>	Trampa de aire	No Controlada	0,31	20	Sí
<i>BM</i>	Lab. control de calidad	Controlada	0,57	100	Sí

BN	Lab. control de calidad	Controlada	1,70	100	Sí
BO	Lab. control de calidad	Controlada	0,48	100	Sí
BP	Despacho	No Controlada	0,05	20	Sí
BQ	Pasillo de despacho	No Controlada	0,10	20	Sí
BR	Terraza	No Controlada	0,03	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°55-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, el punto BN que corresponde a la ventana colindante del cuarto de control de calidad es donde hay mayor tasa de dosis, sin embargo la tasa de dosis no es muy elevada debido a que el tiempo de permanencia de la dosis es poco, pese a ello el laboratorio de radiofarmacia cumple con la seguridad radiológica.

Tabla 22-3. Validación del blindaje estructural en todas las barreras del laboratorio de control de calidad

PUNTOS	ÁREA COLINDANTE	TIPO DE ZONA	DOSIS CALCULADA (µSv/sem)	RESTRICCIÓN DE DOSIS (µSv/sem)	CUMPLE
BS	Trampa de aire	No Controlada	0,09	20	Sí
BT	Trampa de aire	No Controlada	0,07	20	Sí
BU	Control de calidad microbiológico	No Controlada	1,00	20	Sí
BV	Control de calidad microbiológico	No Controlada	2,54	20	Sí
BW	Control de calidad microbiológico	No Controlada	3,88	20	Sí
BX	Bodega de materiales	No Controlada	0,11	20	Sí
BY	Materia prima	No Controlada	0,04	20	Sí
BZ	Lab. Radiofarmacia	Controlada	0,62	100	Sí
CA	Lab. Radiofarmacia	Controlada	3,95	100	Sí
CB	Lab. Radiofarmacia	Controlada	0,32	100	Sí
CD	Terraza	No Controlada	0,03	20	Sí

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

En la tabla N°56-3, se observa que todas las barreras cumplen con la restricción de dosis, el punto CA que corresponde a la ventana colindante con el laboratorio de radiofarmacia es donde hay mayor tasa de dosis, pese a ello el laboratorio de control de calidad cumple con la seguridad radiológica

CONCLUSIONES

- ✚ Se validaron los blindajes estructurales de la Unidad Técnica PET Ciclotrón mediante el levantamiento radiométrico en cada una de las salas, en ello se puede constatar que todas ellas cumplen con la restricción de dosis, lo que significa que garantizan la seguridad radiológica del POE, paciente y público que transitan por la Unidad, esto también sirve para asegurar el proceso de licenciamiento de la Unidad ya que es uno de los requisitos para su funcionamiento que sus estructuras estén en perfecto estado. Además se puede verificar que en todos los puntos la tasa de dosis es baja en comparación con la restricción de dosis, esto también se debe a que el ^{18}F – FDG, es un radiofármaco de vida media corta por ende el tiempo de exposición no es muy alto, y las dosis con las que se manejan no son considerablemente altas.
- ✚ Se realizó el cálculo de blindaje en todas las salas de la Unidad Técnica PET Ciclotrón, en la cual se verificó que la mayor parte de las barreras cumplen con los espesores que actualmente poseen para atenuar la radiación, ciertos puntos no cumplían, sin embargo se requería verificar si la tasa de dosis que se transfiere afecta a la restricción de dosis, esto mediante el levantamiento radiométrico y se pudo constatar que pese a ciertas barreras no tener el espesor requerido la restricción de dosis era mayor a la tasa de dosis en ese punto, por ello todas las barreras son seguras tanto para POE, pacientes y público.
- ✚ Los puntos de interés se tomaron en cuenta considerando aspectos necesarios para poder calcular y validar el blindaje, como por ejemplo distancias más cortas, salas colindantes de gran ocupación, cambios de espesor (pared, ventana, exclusiva, puertas, etc.). Además para el levantamiento radiométrico se tomaron valores de tasa de dosis con varias repeticiones en cada punto esto a fin de minimizar el porcentaje de error y obtener valores más certeros para garantizar la seguridad y protección radiológica.
- ✚ Se obtuvo el factor de transmisión en las salas de la Unidad Técnica PET Ciclotrón proporcionando en su mayoría valores superiores a 1. Los factores que influyen en ello son, las grandes distancias fuente – barrera, la carga de trabajo y la baja dosis del ^{18}F – FDG. El cuarto de equipo PEM, laboratorio de radiofarmacia y de control de calidad, son los que en su mayoría de puntos no requieren un blindaje adicional con ello se garantiza la protección radiológica en paciente, POE y público.

- ✚ Se pudo comparar el blindaje estructural que posee la Unidad con el espesor de blindaje calculado, y todas las salas cumplen con el espesor necesario para atenuar la radiación, además, en la memoria técnica de cálculo de blindaje realizado en el 2012, ciertos espesores son similares a los calculados actualmente pese a tener consideraciones distintas a las del año 2012. Con ello se garantiza que la Unidad es segura para laborar con radiaciones ionizantes.
- ✚ En consecuencia al cálculo de blindaje y a su validación mediante el levantamiento radiométrico, no es necesario establecer recomendaciones de refuerzo estructural en las barreras de la Unidad Técnica PET Ciclotrón, debido a que todas garantizan la seguridad radiológica.

RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda poseer todos los equipos detectores de radiación ionizante (Geiger – Muller, cámaras de ionización, etc.) estén respectivamente calibrados para poder realizar monitorizaciones de validación del blindaje.
- ✚ Se recomienda que el POE, pacientes y público evite el tránsito por los pasillos de diagnóstico un vez que los pacientes están inyectados el radiofármaco.
- ✚ Se recomienda capacitaciones y simulacros al POE sobre accidentes radiológicos para poseer respuestas inmediatas ante un posible accidente.

BIBLIOGRAFÍA

ALCARAZ, M.; & LÓPEZ, C. *Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico médico* [en línea]. España : EDITUM, 2003. [Consulta: 18 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=mtQkRFUmhgsC&pg=PA4&dq=Bases+f%C3%ADsicas+y+biol%C3%B3gicas+del+radiodiagn%C3%B3stico+m%C3%A9dico.+Espa%C3%B1a:+EDITUM,+2003.&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwiOtYP0n6bvAhUHIFkKHZUHD10Q6AEwAHoECAyQAq#v=onepage&q&f=false>.

AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE (AAPM). *Report No. 108 - AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements* [blog]. [Consulta: 11 de 06 de 2020.]. Disponible en: <https://www.aapm.org/>.

BROSED, Antonio.; et. al. *Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica* [en línea]. Senda Editorial S.A., 2008. [Consulta: 12 septiembre 2020]. Disponible en: https://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf

CANSECO, Omar. *Cálculo de blindajes y su verificación utilizando dosimetría TLD para una instalación que alojará un mastógrafo por emisión de positrones* [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional Autónoma de México, México. 2015. pp. 10-20. [Consulta: 2020-08-11] Disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2015/mayo/0729841/0729841.pdf>

CARLYLE, Stewart. *Manual de protección radiológica para técnicos* [en línea]. España : ELSEVIER, 2017. [Consulta: 22 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=JdzQDwAAQBAJ&pg=PR4&dq=CARLYLE,+S.,,+2017,.,+Manual+de+protecci%C3%B3n+radiol%C3%B3gica+para+t%C3%A9cnicos.+Espa%C3%B1a:+ELSEVIER,+2017.&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwieqjeoqbvAhWuuFkKHSU2AsgQ6AEwAHoECAAAQAq#v=onepage&q=CARLYLE%2C%20S.%2C%202017%2C%20Manua%20de%20protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica%20para%20t%C3%A9cnicos.%20Espa%C3%B1a%203A%20ELSEVIER%2C%202017.&f=false>

CASPE, Natalia. *Dosimetría personal* [en línea]. Argentina. 2004. [Consulta en: 22 de agosto de 2020]. Disponible en: [http://www.unsam.edu.ar/escuelas/ciencia/alumnos/PUBLIC.1999-2006-%20Alumnos%20P.F.I/\(RP\)%20CASPE%20NATALIA.pdf](http://www.unsam.edu.ar/escuelas/ciencia/alumnos/PUBLIC.1999-2006-%20Alumnos%20P.F.I/(RP)%20CASPE%20NATALIA.pdf)

CHAIN, Yamil; & ILLANES, Luis. *Radiofármacos en medicina nuclear* [en línea]. Argentina : edulp, 2015. [Consulta: 23 agosto de 2020]. Disponible en: <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/409/376/1284-1>

COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA (ICRP-103). 2007., *Las recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica.* España - Madrid : Senda Editorial S.A, 2007.

CONSEJO ECUATORIANO DE ENERGÍA ATÓMICA (CEEAA). *Reglamento Ecuatoriano de seguridad radiológica* [en línea]. Ecuador. 1979. [Consulta: 23 agosto 2020]. Disponible en: <https://sut.trabajo.gob.ec/publico/Normativa%20Legal/Acuerdos%20Ministeriales/REGLAMENTO%20DE%20SEGURIDAD%20RADIOLOGICA.pdf>

ESPINOZA, Alfonso. Protocolo para la evaluación de puestos de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes asociadas al uso médico de equipos de rayos x convencionales [En línea]. Chile. 2017. [Consulta: 2 de septiembre de 2020]. Disponible en: http://www.ispch.cl/sites/default/files/D046-PR-500-02001ProtocoloEvaluacionExposicionRXconvencionales_v2.pdf.

GANÁN, Mary. Diseño y cálculo de blindajes para zonas de alto riesgo radiológico en la unidad de medicina nuclear del hospital teodoro maldonado carbo, iess - guayaquil [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2018. pp.1-2. [Consulta: 11 septiembre 2020] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8604/1/86T00063.pdf>.

HERNÁNDEZ, J. *Matemáticas en medicina nuclear* [En línea]. 2003. España. pp. 19-21. [Consulta: 11 septiembre 2020]. Disponible en: <https://imarrero.webs.ull.es/sctm03.v2/modulo3/JHArmas.pdf>.

ESPINOZA, Alfonso. Protocolo para la evaluación de puestos de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes asociadas al uso médico de equipos de rayos x convencionales [En línea]. Chile. 2017. [Consulta: 23 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.ispch.cl/sites/default/files/D008-PR-500-02001%20Protocolo%20ev%20puesto%20trabajo%20con%20exposicion%20a%20radiaciones%20ionizantes.pdf>

MADERO, D. "Shielding Calculation for Nuclear Medicine Services". *TECCIENCIA* [en línea], 2017, (Colombia), pp. 2-5. [Consulta: 12 septiembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317258290_Shielding_Calculation_for_Nuclear_Medicine_Services.

MADSEN, Mark; et al. "PET and PET/CT Shielding Requirements". *"AAPM Task Group 108"* [en línea], 2006, (EEUU), pp. 5-14. [Consulta: 10 diciembre 2020]. Disponible en: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1118/1.2135911>

MARTÍNEZ, D.; & GERSON, R. "La tomografía por emisión de positrones (PET/CT)". *medigraphic Artemisa* [en línea], 2006, México, pp. 1-3. [Consulta: 23 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/circir/cc-2006/cc064n.pdf>.

NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS (NCRP-147). *Diseño de blindaje estructural para instalaciones médicas de imágenes de rayos X* [en línea]. 2007. [Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user_upload/Mtahghighat/parto_darmani/book/NCRP_147_.pdf

NUÑEZ, Margarita. Protección radiológica en medicina nuclear [en línea], 2008, Uruguay, pp. 4-13. [Consulta: 12 septiembre 2020]. Disponible en: https://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Proteccion_radiologica.pdf

OIEA. Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad [En línea]. 2016. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1578_S_web.pdf.

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA DE ATÓMICA. 2001,. Acuerdo de Cooperación Regional para la Promoción de la Ciencia Nuclear y Tecnología en. [En línea] 31 de 12 de 2001. [Citado el: 13 de 09 de 2020.] <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/MET/arc49-protocolo-cc.pdf>.

PRECIADO, Mercedes; & LUNA, Verónica. "Medidas básicas de protección radiológica" [en línea], 2010, México. pp. 2-5. [Consulta: 15 octubre 2020]. Disponible en: <http://incan-mexico.org/revistainvestiga/elementos/documentosPortada/1294860259.pdf>

SÁNCHEZ, K. Emisores radiológicos en centros hospitalarios - Gestión del riesgo. [En línea] 2018. Disponible en: <http://www.osich.com/wp-content/uploads/MESA-5.-Sr.-Kefren-Sanchez-Noriega.pdf>.

SANZ, Vanesa; et. al. *Radioprotección en medicina nuclear* [en línea], Argentina, 2017: Edulp. [Consulta: 10 octubre 2020]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/62068/Documento_completo___.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

THERMO FISHER SCIENTIFIC. Detector de radiación personal [blog]. 2015. Disponible en: <https://www.fishersci.es/shop/products/radeye-prd-prd-er-personal-radiation-detector/p-4531362>.

TREJO, Gama. "Diseño Optimizado de Blindajes para Rayos X Diagnóstico con Técnica NCRP 147" [en línea], 2006, (México), pp. 1-8. [Consulta: 3 septiembre 2020]. Disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/048/38048834.pdf

UNIVERSIDAD DE SEVILLA. *Caracterización de un contador Geiger-Müller.* España. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: <http://nuclear.fis.ucm.es/LABORATORIO/guiones/Caracterizaci%F3ndeGeiger.pdf>

VALLEJO, Carlos. *Técnicas de imagen en medicina nuclear*[en línea], 2012, España, SINTESIS. Disponible en: <https://www.sintesis.com/data/indices/9788491713692.pdf>

VÁSCONEZ, Cristian. Validación del blindaje estructural de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín mediante levantamiento radiométrico bajo el protocolo IAEA/ARCAL XLIX. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2019. pp.1-2. [Consulta: 2020-09-11] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13251/1/86T00083.pdf>.

YANCHAPANTA, Vilma. Cálculo de blindaje para el acelerador lineal monoenergético del Instituto de Cáncer Solca- Núcleo de Loja. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2012. pp.1-2. [Consulta: 2020-09-11] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3090/1/86T00015.pdf>

ANEXOS

ANEXO A

Valores de tasa de dosis del punto A

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,21	0,22	0,88
		0,22		
		0,20		
2	Parte superior central	0,23	0,25	
		0,25		
		0,25		
3	Parte superior derecha	0,20	0,22	
		0,22		
		0,20		
4	Parte central izquierda	0,39	0,40	
		0,40		
		0,40		
5	Parte central	0,69	0,69	
		0,65		
		0,67		
6	Parte central derecha	0,19	0,21	
		0,21		
		0,19		
7	Parte inferior izquierda	0,54	0,54	
		0,49		
		0,45		
8	Parte inferior central	0,88	0,88	
		0,79		
		0,78		
9	Parte inferior derecha	0,59	0,59	
		0,58		
		0,59		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO B

Valores de tasa de dosis del punto B

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO DE PARED ($\mu\text{Sv/h}$)			
1	Parte superior izquierda	0,35	0,37	0,43			
		0,35					
		0,37					
2	Parte superior central	0,37	0,40		0,43		
		0,38					
		0,40					
3	Parte superior derecha	0,40	0,40			0,43	
		0,40					
		0,38					
4	Parte central izquierda	0,36	0,37				0,43
		0,37					
		0,37					
5	Parte central	0,43	0,43	0,43			
		0,42					
		0,43					
6	Parte central derecha	0,35	0,38		0,43		
		0,37					
		0,38					
7	Parte inferior izquierda	0,33	0,36			0,43	
		0,35					
		0,36					
8	Parte inferior central	0,34	0,38				0,43
		0,38					
		0,38					
9	Parte inferior derecha	0,40	0,43	0,43			
		0,43					
		0,40					

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO C

Valores de tasa de dosis del punto C

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)	
1	Parte superior izquierda	0,74	0,75		
		0,75			
		0,75			
2		1,65	1,66		
		1,66			

	Parte superior derecha	1,66		1,41
3	Parte central izquierda	0,75	0,76	
		0,75		
		0,76		
4	Parte central derecha	1,38	1,41	
		1,39		
		1,41		
5	Parte inferior izquierda	0,73	0,75	
		0,73		
		0,75		
6	Parte inferior derecha	1,05	1,10	
		1,10		
		1,09		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO D

Valores de tasa de dosis en punto D

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO DE PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,33	0,34	0,45
		0,33		
		0,34		
2	Parte superior derecha	0,37	0,38	
		0,38		
		0,37		
3	Parte central izquierda	0,36	0,37	
		0,37		
		0,37		
4	Parte central derecha	0,40	0,42	
		0,42		
		0,40		
5	Parte inferior izquierda	0,33	0,33	
		0,33		
		0,32		
6	Parte inferior derecha	0,45	0,45	
		0,44		
		0,44		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO E

Valores de tasa de dosis tomado en punto E.

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO DE PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,37	0,37	0,55
		0,36		
		0,37		
2	Parte superior central	0,30	0,33	
		0,32		
		0,33		
3	Parte superior derecha	0,27	0,27	
		0,27		
		0,25		
4	Parte central izquierda	0,30	0,33	
		0,33		
		0,33		
5	Parte central	0,32	0,34	
		0,34		
		0,33		
6	Parte central derecha	0,25	0,26	
		0,25		
		0,26		
7	Parte inferior izquierda	0,54	0,55	
		0,54		
		0,55		
8	Parte inferior central	0,30	0,30	
		0,30		
		0,30		
9	Parte inferior derecha	0,26	0,27	
		0,22		
		0,27		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO F

Valores de tasa de dosis tomado en el punto G

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,31	0,34	0,93
		0,32		
		0,34		
2	Parte superior central	0,31	0,31	
		0,31		
		0,30		
3	Parte superior derecha	0,19	0,21	
		0,19		
		0,21		
4	Parte central izquierda	0,33	0,34	
		0,34		
		0,31		
5	Parte central	0,68	0,73	
		0,70		
		0,73		
6	Parte central derecha	0,27	0,29	
		0,25		
		0,29		
7	Parte inferior izquierda	0,66	0,69	
		0,69		
		0,68		
8	Parte inferior central	0,88	0,93	
		0,90		
		0,93		
9	Parte inferior derecha	0,19	0,21	
		0,20		
		0,21		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO G

Valores de tasa de dosis tomado en punto H

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO DE PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,21	0,22	
		0,21		
		0,22		
2		0,28	0,29	
		0,29		

	Parte superior central	0,26		0,55
3	Parte superior derecha	0,29	0,32	
		0,32		
		0,31		
4	Parte central izquierda	0,21	0,21	
		0,20		
		0,21		
5	Parte central	0,32	0,32	
		0,31		
		0,32		
6	Parte central derecha	0,40	0,42	
		0,41		
		0,42		
7	Parte inferior izquierda	0,20	0,20	
		0,20		
		0,17		
8	Parte inferior central	0,40	0,40	
		0,37		
		0,39		
9	Parte inferior derecha	0,53	0,55	
		0,55		
		0,50		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO H

Valores de tasa de dosis tomado en el punto I

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,60	0,62	1,98
		0,62		
		0,62		
2	Parte superior derecha	1,25	1,30	
		1,30		
		1,28		
3	Parte central izquierda	1,19	1,22	
		1,22		
		1,19		
4	Parte central derecha	1,98	1,98	
		1,96		
		1,98		
5	Parte inferior izquierda	0,72	0,72	
		0,71		
		0,71		

6	Parte inferior derecha	1,02	1,04	
		1,04		
		1,04		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO I

Valores de tasa de dosis tomado en el punto J

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,23	0,24	0,51
		0,24		
		0,24		
2	Parte superior derecha	0,32	0,32	
		0,32		
		0,31		
3	Parte central izquierda	0,23	0,23	
		0,22		
		0,23		
4	Parte central derecha	0,51	0,51	
		0,51		
		0,50		
5	Parte inferior izquierda	0,33	0,33	
		0,32		
		0,32		
6	Parte inferior derecha	0,40	0,40	
		0,37		
		0,39		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO J

Valores de tasa de dosis tomado en el punto K

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO DE PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,06	0,07	
		0,07		
		0,07		
2	Parte superior central	0,20	0,21	
		0,21		
		0,21		
		0,20	0,20	

3	Parte superior derecha	0,20		1,24
		0,20		
4	Parte central izquierda	0,23	0,24	
		0,24		
		0,24		
5	Parte central	0,18	0,18	
		0,18		
		0,17		
6	Parte central derecha	0,17	0,17	
		0,16		
		0,17		
7	Parte inferior izquierda	1,24	1,24	
		0,98		
		1,03		
8	Parte inferior central	0,40	0,40	
		0,40		
		0,38		
9	Parte inferior derecha	0,32	0,32	
		0,32		
		0,30		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO K

Valores de tasa de dosis tomado en el punto M

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO DE PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,26	0,27	0,64
		0,26		
		0,27		
2	Parte superior central	0,23	0,24	
		0,24		
		0,23		
3	Parte superior derecha	0,24	0,24	
		0,21		
		0,20		
4	Parte central izquierda	0,23	0,24	
		0,24		
		0,24		
5	Parte central	0,59	0,61	
		0,61		
		0,59		
6	Parte central derecha	0,59	0,60	
		0,60		
		0,57		

7	Parte inferior izquierda	0,39	0,39	
		0,38		
		0,39		
8	Parte inferior central	0,64	0,64	
		0,59		
		0,61		
9	Parte inferior derecha	0,30	0,33	
		0,33		
		0,31		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO L

Tabla 23-2: Valores de tasa de dosis tomado en el punto N

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,28	0,28	0,74
		0,27		
		0,27		
2	Parte superior central	0,22	0,23	
		0,23		
		0,23		
3	Parte superior derecha	0,24	0,24	
		0,24		
		0,23		
4	Parte central izquierda	0,39	0,40	
		0,40		
		0,40		
5	Parte central	0,70	0,74	
		0,72		
		0,74		
6	Parte central derecha	0,61	0,62	
		0,60		
		0,62		
7	Parte inferior izquierda	0,23	0,24	
		0,24		
		0,22		
8	Parte inferior central	0,18	0,18	
		0,16		
		0,16		
9	Parte inferior derecha	0,27	0,28	
		0,28		
		0,28		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO M

Valores de tasa de dosis tomado en el punto O

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	1,28	1,28	1,60
		1,26		
		1,22		
2	Parte superior derecha	1,60	1,60	
		1,59		
		1,60		
3	Parte central izquierda	0,72	0,72	
		0,71		
		0,71		
4	Parte central derecha	0,73	0,74	
		0,74		
		0,74		
5	Parte inferior izquierda	0,57	0,57	
		0,57		
		0,56		
6	Parte inferior derecha	0,58	0,60	
		0,60		
		0,57		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO N

Valores de tasa de dosis tomado en punto P

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,08	0,08	0,46
		0,07		
		0,08		
2	Parte superior derecha	0,24	0,25	
		0,25		
		0,25		
3	Parte central izquierda	0,24	0,24	
		0,23		
		0,24		
4	Parte central derecha	0,45	0,45	
		0,44		
		0,45		
5		0,30	0,30	
		0,30		

	Parte inferior izquierda	0,28		
6	Parte inferior derecha	0,45	0,46	
		0,44		
		0,46		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO O

Valores de tasa de dosis tomado en el punto Q.

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,23	0,24	0,68
		0,23		
		0,24		
2	Parte superior central	0,48	0,49	
		0,49		
		0,49		
3	Parte superior derecha	0,07	0,10	
		0,10		
		0,10		
4	Parte central izquierda	0,37	0,37	
		0,37		
		0,36		
5	Parte central	0,68	0,68	
		0,66		
		0,67		
6	Parte central derecha	0,47	0,47	
		0,45		
		0,47		
7	Parte inferior izquierda	0,49	0,49	
		0,47		
		0,49		
8	Parte inferior central	0,40	0,40	
		0,39		
		0,39		
9	Parte inferior derecha	0,26	0,26	
		0,25		
		0,26		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO P

Valores de tasa de dosis tomado en terraza de los cuartos de inyección

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)
F	Cuarto de inyección 1	0,13	0,14
		0,14	
		0,14	
L	Cuarto de inyección 2	0,14	0,14
		0,13	
		0,14	
R	Cuarto de inyección 3	0,12	0,14
		0,14	
		0,13	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO Q

Valores de tasa de dosis tomado en punto S

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	2,18	2,21	3,10
		2,21		
		2,21		
2	Parte superior central	2,33	2,38	
		2,36		
		2,38		
3	Parte superior derecha	2,00	2,22	
		2,16		
		2,22		
4	Parte central izquierda	3,06	3,10	
		3,09		
		3,10		
5	Parte central	2,97	3,03	
		3,01		
		3,03		
6	Parte central derecha	2,78	2,98	
		2,96		
		2,98		
7	Parte inferior izquierda	2,54	2,62	
		2,59		
		2,62		
		2,55	2,64	

8	Parte inferior central	2,62	2,60	
		2,64		
9	Parte inferior derecha	2,55		
		2,59		
		2,60		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO R

Valores de tasa de dosis tomado en el punto T

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,06	0,09	2,25
		0,09		
		0,09		
2	Parte superior central	0,09	0,13	
		0,11		
		0,13		
3	Parte superior derecha	1,90	1,96	
		1,94		
		1,96		
4	Parte central izquierda	0,07	0,08	
		0,08		
		0,08		
5	Parte central	0,09	0,10	
		0,10		
		0,10		
6	Parte central derecha	2,10	2,15	
		2,13		
		2,15		
7	Parte inferior izquierda	0,08	0,09	
		0,08		
		0,09		
8	Parte inferior central	0,08	0,09	
		0,09		
		0,09		
9	Parte inferior derecha	2,22	2,25	
		2,24		
		2,25		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO S

Valores de tasa de dosis tomado en el punto U

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,20	0,21	0,28
		0,21		
		0,21		
2	Parte superior central	0,22	0,25	
		0,23		
		0,25		
3	Parte superior derecha	0,21	0,23	
		0,23		
		0,23		
4	Parte central izquierda	0,24	0,26	
		0,25		
		0,26		
5	Parte central	0,24	0,27	
		0,26		
		0,27		
6	Parte central derecha	0,21	0,23	
		0,23		
		0,22		
7	Parte inferior izquierda	0,20	0,21	
		0,21		
		0,21		
8	Parte inferior central	0,27	0,28	
		0,27		
		0,28		
9	Parte inferior derecha	0,22	0,23	
		0,22		
		0,23		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO T

Valores de tasa de dosis tomado en el punto V

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,87	0,91	
		0,90		
		0,91		
2		0,93	0,96	
		0,96		

	Parte superior derecha	0,96		1,01
3	Parte central izquierda	0,86	0,89	
		0,88		
		0,89		
4	Parte central derecha	0,96	1,01	
		0,99		
		1,01		
5	Parte inferior izquierda	0,87	0,87	
		0,86		
		0,87		
6	Parte inferior derecha	0,83	0,85	
		0,85		
		0,85		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO U

Valores de tasa de dosis tomado en el punto W

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,25	0,27	0,30
		0,27		
		0,27		
2	Parte superior central	0,27	0,28	
		0,26		
		0,28		
3	Parte superior derecha	0,28	0,30	
		0,29		
		0,30		
4	Parte central izquierda	0,27	0,30	
		0,28		
		0,30		
5	Parte central	0,24	0,25	
		0,24		
		0,25		
6	Parte central derecha	0,21	0,23	
		0,23		
		0,23		
7	Parte inferior izquierda	0,20	0,21	
		0,20		
		0,21		
8	Parte inferior central	0,20	0,21	
		0,21		
		0,21		

9	Parte inferior derecha	0,19	0,20	
		0,17		
		0,20		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO V

Valores de tasa de dosis tomado en terraza

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)
X	Sala de equipo PEM	0,12	0,14
		0,13	
		0,14	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO W

Valores de tasa de dosis tomado en el punto Y

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	1,22	1,26	1,89
		1,25		
		1,26		
2	Parte superior derecha	1,29	1,30	
		1,30		
		1,30		
3	Parte central izquierda	1,75	1,75	
		1,75		
		1,73		
4	Parte central derecha	1,77	1,78	
		1,78		
		1,75		
5	Parte inferior izquierda	1,76	1,77	
		1,77		
		1,73		
6	Parte inferior derecha	1,82	1,89	
		1,86		
		1,89		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO X

Valores de tasa de dosis tomado el punto Z

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	3,26	3,31	3,50
		3,30		
		3,31		
2	Parte superior derecha	3,20	3,28	
		3,26		
		3,28		
3	Parte central izquierda	3,37	3,50	
		3,45		
		3,50		
4	Parte central derecha	2,92	2,95	
		2,95		
		2,95		
5	Parte inferior izquierda	2,68	2,80	
		2,74		
		2,80		
6	Parte inferior derecha	3,10	3,15	
		3,14		
		3,15		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO Y

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AB

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	7,07	7,12	10,81
		7,10		
		7,12		
2	Parte superior derecha	7,36	7,43	
		7,40		
		7,43		
3	Parte central izquierda	10,22	10,36	
		10,32		
		10,36		
4	Parte central derecha	10,65	10,81	
		10,78		
		10,81		
5		8,55	8,62	
		8,60		

	Parte inferior izquierda	8,62		
6	Parte inferior derecha	8,40	8,45	
		8,43		
		8,45		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO Z

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AC

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	4,10	4,21	4,52
		4,16		
		4,21		
2	Parte superior derecha	4,18	4,25	
		4,22		
		4,25		
3	Parte central izquierda	4,50	4,52	
		4,52		
		4,45		
4	Parte central derecha	3,88	3,98	
		3,95		
		3,98		
5	Parte inferior izquierda	4,07	4,12	
		4,11		
		4,12		
6	Parte inferior derecha	4,06	4,10	
		4,08		
		4,10		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AB

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AE

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	1,22	1,26	
		1,24		
		1,26		
2		1,11	1,15	
		1,13		

	Parte superior derecha	1,15		1,88
3	Parte central izquierda	1,80	1,88	
		1,86		
		1,88		
4	Parte central derecha	1,54	1,60	
		1,57		
		1,60		
5	Parte inferior izquierda	1,85	1,88	
		1,88		
		1,88		
6	Parte inferior derecha	1,66	1,69	
		1,69		
		1,68		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AC

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AF

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,65	0,69	1,63
		0,68		
		0,69		
2	Parte superior derecha	1,22	1,34	
		1,30		
		1,34		
3	Parte central izquierda	1,52	1,63	
		1,59		
		1,63		
4	Parte central derecha	1,35	1,48	
		1,43		
		1,48		
5	Parte inferior izquierda	1,43	1,50	
		1,47		
		1,50		
6	Parte inferior derecha	1,50	1,58	
		1,55		
		1,58		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AD

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AG

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	4,23	4,31	5,22
		4,28		
		4,31		
2	Parte superior derecha	4,20	4,26	
		4,25		
		4,26		
3	Parte central izquierda	4,26	4,32	
		4,30		
		4,32		
4	Parte central derecha	3,77	3,83	
		3,80		
		3,83		
5	Parte inferior izquierda	4,08	4,13	
		4,11		
		4,13		
6	Parte inferior derecha	5,15	5,22	
		5,19		
		5,22		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AE

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AH

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	6,07	6,15	10,33
		6,12		
		6,15		
2	Parte superior derecha	5,58	5,63	
		5,62		
		5,63		
3	Parte central izquierda	9,48	9,60	
		9,54		
		9,60		
4	Parte central derecha	10,20	10,33	
		10,28		
		10,33		
5		7,25	7,30	
		7,28		

	Parte inferior izquierda	7,30		
6	Parte inferior derecha	7,20	7,28	
		7,25		
		7,28		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AF

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AI

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	3,38	3,45	3,74
		3,42		
		3,45		
2	Parte superior derecha	3,55	3,63	
		3,62		
		3,63		
3	Parte central izquierda	3,33	3,38	
		3,35		
		3,38		
4	Parte central derecha	3,70	3,74	
		3,73		
		3,74		
5	Parte inferior izquierda	3,55	3,60	
		3,60		
		3,60		
6	Parte inferior derecha	3,32	3,35	
		3,35		
		3,35		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AG

Valores de tasa de dosis tomado en la terraza de los baños

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)
AD	Baño 1	0,12	0,14
		0,13	
		0,14	
AJ	Baño 2	0,14	0,14
		0,13	
		0,14	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AH

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AK para PET

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)			
1	Parte superior izquierda	0,23	0,25	0,25			
		0,23					
		0,25					
2	Parte superior derecha	0,21	0,25		0,25		
		0,24					
		0,25					
3	Parte central izquierda	0,23	0,24			0,25	
		0,24					
		0,24					
4	Parte central derecha	0,18	0,21				0,25
		0,20					
		0,21					
5	Parte inferior izquierda	0,12	0,15	0,25			
		0,14					
		0,15					
6	Parte inferior derecha	0,17	0,17		0,25		
		0,16					
		0,17					

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AI

Valores de tasa de dosis tomado en punto AL para PET

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,18	0,21	0,23
		0,21		
		0,21		
2	Parte superior central	0,12	0,16	
		0,15		
		0,15		
3	Parte superior derecha	0,17	0,19	
		0,19		
		0,19		
4	Parte central izquierda	0,16	0,20	
		0,18		
		0,20		
5	Parte central	0,16	0,18	
		0,18		
		0,18		
6	Parte central derecha	0,22	0,22	
		0,21		
		0,22		
7	Parte inferior izquierda	0,18	0,21	
		0,21		
		0,20		
8	Parte inferior central	0,17	0,20	
		0,19		
		0,20		
9	Parte inferior derecha	0,21	0,23	
		0,23		
		0,23		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AJ

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AM para PET

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,15	0,16	
		0,16		
		0,16		
2	Parte superior central	0,13	0,15	
		0,14		
		0,15		

3	Parte superior derecha	0,12	0,14	0,24
		0,14		
		0,14		
4	Parte central izquierda	0,13	0,15	
		0,15		
		0,14		
5	Parte central	0,16	0,17	
		0,17		
		0,17		
6	Parte central derecha	0,20	0,22	
		0,22		
		0,22		
7	Parte inferior izquierda	0,18	0,21	
		0,20		
		0,21		
8	Parte inferior central	0,18	0,22	
		0,19		
		0,22		
9	Parte inferior derecha	0,22	0,24	
		0,23		
		0,24		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AK

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AN para PET

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,22	0,25	0,26
		0,24		
		0,25		
2	Parte superior central	0,24	0,26	
		0,25		
		0,26		
3	Parte superior derecha	0,24	0,25	
		0,25		
		0,25		
4	Parte central izquierda	0,21	0,23	
		0,23		
		0,23		
5	Parte central	0,22	0,26	
		0,25		
		0,26		
		0,25	0,25	

6	Parte central derecha	0,25		
		0,25		
7	Parte inferior izquierda	0,18	0,19	
		0,19		
		0,19		
8	Parte inferior central	0,20	0,21	
		0,19		
		0,21		
9	Parte inferior derecha	0,22	0,23	
		0,23		
		0,23		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AL

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AO para PET

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,30	0,31	0,38
		0,31		
		0,31		
2	Parte superior derecha	0,29	0,30	
		0,30		
		0,30		
3	Parte central izquierda	0,36	0,38	
		0,37		
		0,38		
4	Parte central derecha	0,31	0,32	
		0,32		
		0,32		
5	Parte inferior izquierda	0,31	0,33	
		0,33		
		0,33		
6	Parte inferior derecha	0,27	0,28	
		0,28		
		0,28		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AM

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AP para PET

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,58	0,61	0,79
		0,61		
		0,61		
2	Parte superior central	0,67	0,70	
		0,69		
		0,70		
3	Parte superior derecha	0,54	0,58	
		0,57		
		0,58		
4	Parte central izquierda	0,60	0,63	
		0,62		
		0,63		
5	Parte central	0,74	0,75	
		0,75		
		0,75		
6	Parte central derecha	0,77	0,79	
		0,78		
		0,78		
7	Parte inferior izquierda	0,10	0,10	
		0,10		
		0,10		
8	Parte inferior central	0,21	0,23	
		0,22		
		0,23		
9	Parte inferior derecha	0,21	0,21	
		0,20		
		0,21		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AN

Valores de tasa de dosis tomado en terraza para PET

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)
AQ	Sala PET/CT	0,13	0,14
		0,14	
		0,13	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AO

Valores de tasa de dosis tomado las barreras durante CT

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)
AK	Pasillo de diagnóstico	0,65	0,70
		0,68	
		0,70	
AL	Consola del equipo PET/CT	1,40	1,45
		1,44	
		1,45	
AM	Pasillo de producción	0,53	0,53
		0,53	
		0,52	
AN	Oficina de OSR, cuarto de gases	0,54	0,61
		0,58	
		0,61	
AO	Baño de hombres y mujeres	3,67	3,85
		3,83	
		3,85	
AP	Pasillo en el área de diagnóstico	5,33	5,35
		5,27	
		5,35	
AQ	Terraza	0,23	0,30
		0,27	
		0,30	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020.

ANEXO AP

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AR

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	3,30	3,36	3,36
		3,34		
		3,36		
2	Parte superior central	0,14	0,18	
		0,17		
		0,18		
3	Parte superior derecha	0,12	0,12	
		0,12		
		0,10		
4		2,37	2,41	
		2,40		

	Parte central izquierda	2,41		
5	Parte central	0,18	0,21	
		0,20		
		0,21		
6	Parte central derecha	0,13	0,16	
		0,15		
		0,16		
7	Parte inferior izquierda	0,11	0,12	
		0,11		
		0,12		
8	Parte inferior central	0,20	0,21	
		0,21		
		0,21		
9	Parte inferior derecha	0,16	0,18	
		0,16		
		0,18		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AQ

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AS

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	1,65	1,7	8,15
		1,63		
		1,70		
2	Parte superior central	3,28	3,36	
		3,33		
		3,36		
3	Parte superior derecha	8,09	8,15	
		8,13		
		8,15		
4	Parte central izquierda	0,65	0,71	
		0,68		
		0,71		
5	Parte central derecha	6,60	6,88	
		6,75		
		6,88		
6	Parte inferior izquierda	0,12	0,12	
		0,11		
		0,12		
7	Parte inferior central	0,23	0,26	
		0,23		
		0,26		

8	Parte inferior derecha	0,39	0,41	
		0,37		
		0,41		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AR

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AT.

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)
Exclusa	Pasillo ingreso Producción	3,28	3,31
		3,30	
		3,31	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AS

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AU

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,26	0,26	0,38
		0,24		
		0,25		
2	Parte superior derecha	0,31	0,38	
		0,34		
		0,38		
3	Parte central izquierda	0,26	0,28	
		0,26		
		0,28		
4	Parte central derecha	0,34	0,34	
		0,33		
		0,34		
5	Parte inferior izquierda	0,27	0,28	
		0,28		
		0,26		
6	Parte inferior derecha	0,24	0,30	
		0,27		
		0,30		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AT

Valores de tasa de dosis tomado en punto AV.

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,24	0,25	0,27
		0,24		
		0,25		
2	Parte superior derecha	0,22	0,23	
		0,23		
		0,22		
3	Parte central izquierda	0,22	0,24	
		0,24		
		0,24		
4	Parte central derecha	0,25	0,27	
		0,26		
		0,27		
5	Parte inferior izquierda	0,11	0,11	
		0,11		
		0,11		
6	Parte inferior derecha	0,10	0,10	
		0,08		
		0,10		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AU

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AW.

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO EN PARED ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Parte superior izquierda	0,32	0,34	0,34
		0,33		
		0,34		
2	Parte superior central	0,30	0,30	
		0,29		
		0,29		
3	Parte superior derecha	0,23	0,24	
		0,24		
		0,24		
4	Parte central izquierda	0,20	0,22	
		0,22		
		0,21		
5	Parte central	0,30	0,32	
		0,32		

		0,31		
6	Parte central derecha	0,22	0,24	
		0,22		
		0,24		
7	Parte inferior izquierda	0,30	0,32	
		0,32		
		0,31		
8	Parte inferior central	0,26	0,26	
		0,25		
		0,26		
9	Parte inferior derecha	0,24	0,24	
		0,23		
		0,24		

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AV

Valores de tasa de dosis tomado en el punto AX

PUNTO	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)
Techo	Terraza	5,98	6,10
		6,05	
		6,10	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AW

Valores de tasa de dosis tomado en las barreras del cuarto del ciclotrón

PUNTOS	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)
AY	Consola de ciclotrón	0,23	0,41
		0,37	
		0,41	
		0,32	
		0,33	
AZ	Consola de ciclotrón	0,34	0,40
		0,34	
		0,35	
		0,40	
		0,40	
BA	Pasillo de baño de mujeres	0,31	0,33
		0,25	
		0,32	
		0,33	

		0,33	
BC	Bodega de limpieza	0,67	0,80
		0,68	
		0,80	
		0,76	
		0,75	
BD	Oficina de personal de producción	0,47	0,51
		0,45	
		0,33	
		0,51	
		0,46	
BE	Exterior	0,42	0,47
		0,32	
		0,34	
		0,47	
		0,38	
BF	Exterior	0,58	0,70
		0,56	
		0,62	
		0,61	
		0,70	
BG	Terraza	0,24	0,33
		0,26	
		0,33	
		0,22	
		0,24	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AX

Valores de tasa de dosis tomado en las barreras del laboratorio de radiofarmacia

PUNTOS	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)
BH	Pasillo de producción	0,28	0,30
		0,27	
		0,26	
		0,28	
		0,30	
BI	Puerta de ingreso en producción	0,28	0,39
		0,33	
		0,32	
		0,30	
		0,39	
BJ	Trampa de aire	0,31	0,33
		0,32	
		0,33	
		0,32	
		0,31	
BK	Trampa de aire	1,86	2,03
		2,03	
		1,71	

		1,89	
		2,01	
BL	Control de calidad físico – químico	1,94	2,24
		2,23	
		2,17	
		2,24	
		2,10	
BM	Control de calidad físico – químico	0,59	0,63
		0,63	
		0,58	
		0,56	
		0,61	
BN	Despacho	0,34	0,35
		0,32	
		0,33	
		0,28	
		0,35	
BO	Pasillo de despacho	0,59	0,63
		0,57	
		0,63	
		0,62	
		0,58	
BP	Terraza	0,30	0,37
		0,32	
		0,34	
		0,35	
		0,37	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AY

Valores de tasa de dosis tomado en las barreras del laboratorio de control de calidad

PUNTOS	REFERENCIA	VALORES MEDIDOS ($\mu\text{Sv/h}$)	VALOR MÁXIMO TOMADO ($\mu\text{Sv/h}$)
BQ	Trampa de aire	0,39	0,48
		0,41	
		0,48	
		0,40	
		0,45	
BR	Trampa de aire	0,27	0,36
		0,28	
		0,35	
		0,36	
		0,29	
BS	Control de calidad microbiológico	2,57	2,68
		2,65	
		2,68	
		1,92	
		2,33	
		0,50	0,60
		0,53	

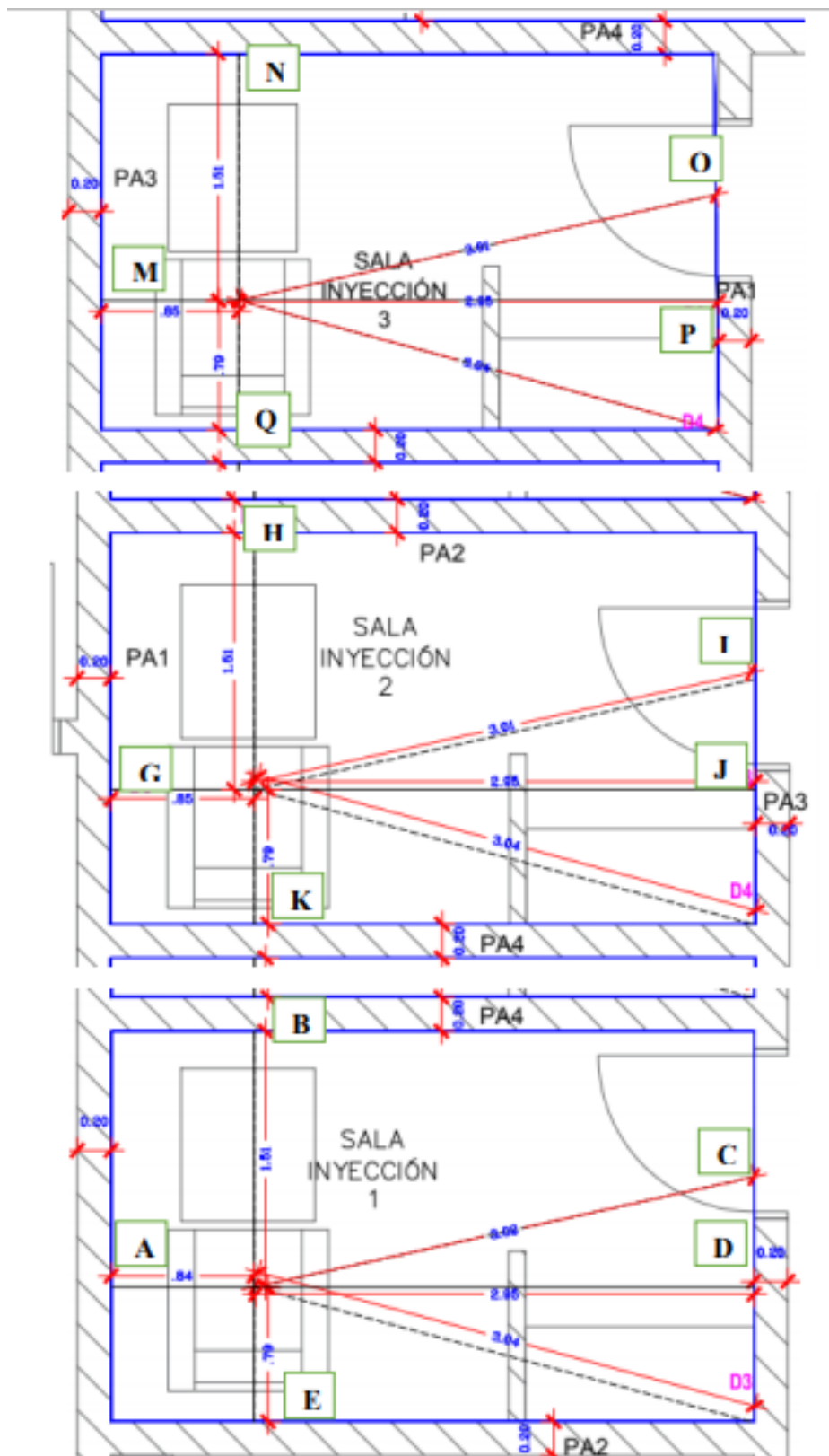
BT	Bodega de materiales	0,45	
		0,58	
		0,60	
BU	Materia prima	0,19	0,20
		0,20	
		0,18	
		0,17	
		0,18	
BV	Radiofarmacia	0,48	0,65
		0,60	
		0,60	
		0,57	
		0,65	
BW	Radiofarmacia	0,27	4,17
		4,17	
		0,12	
		3,66	
		2,87	
BX	Radiofarmacia	0,34	0,34
		0,33	
		0,32	
		0,31	
		0,30	
BY	Terraza	0,26	0,30
		0,30	
		0,30	
		0,28	
		0,29	

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO AZ

Puntos de intereses considerados en los cuartos de inyección

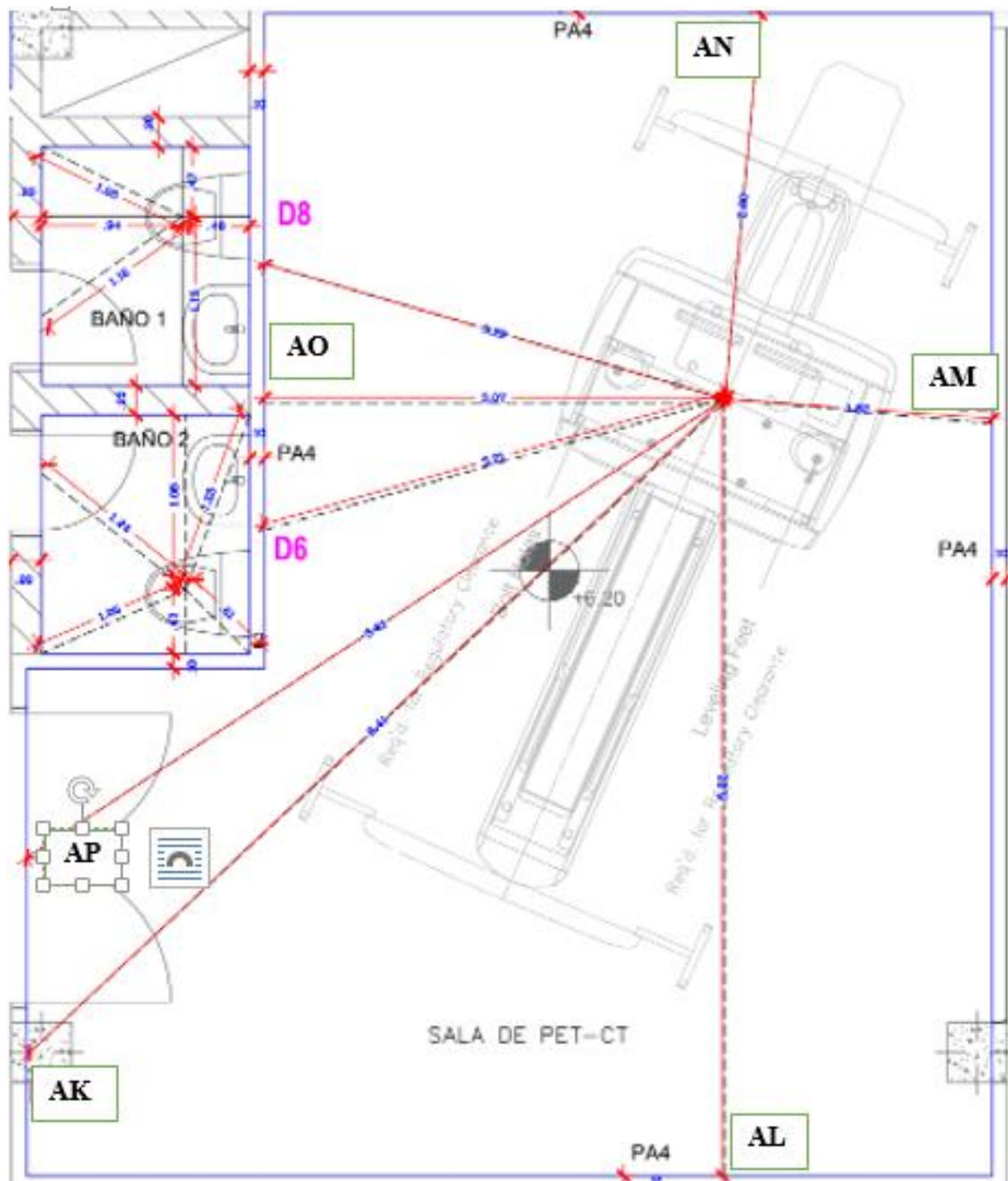


Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO BD

Puntos de intereses considerados en el cuarto PET CT

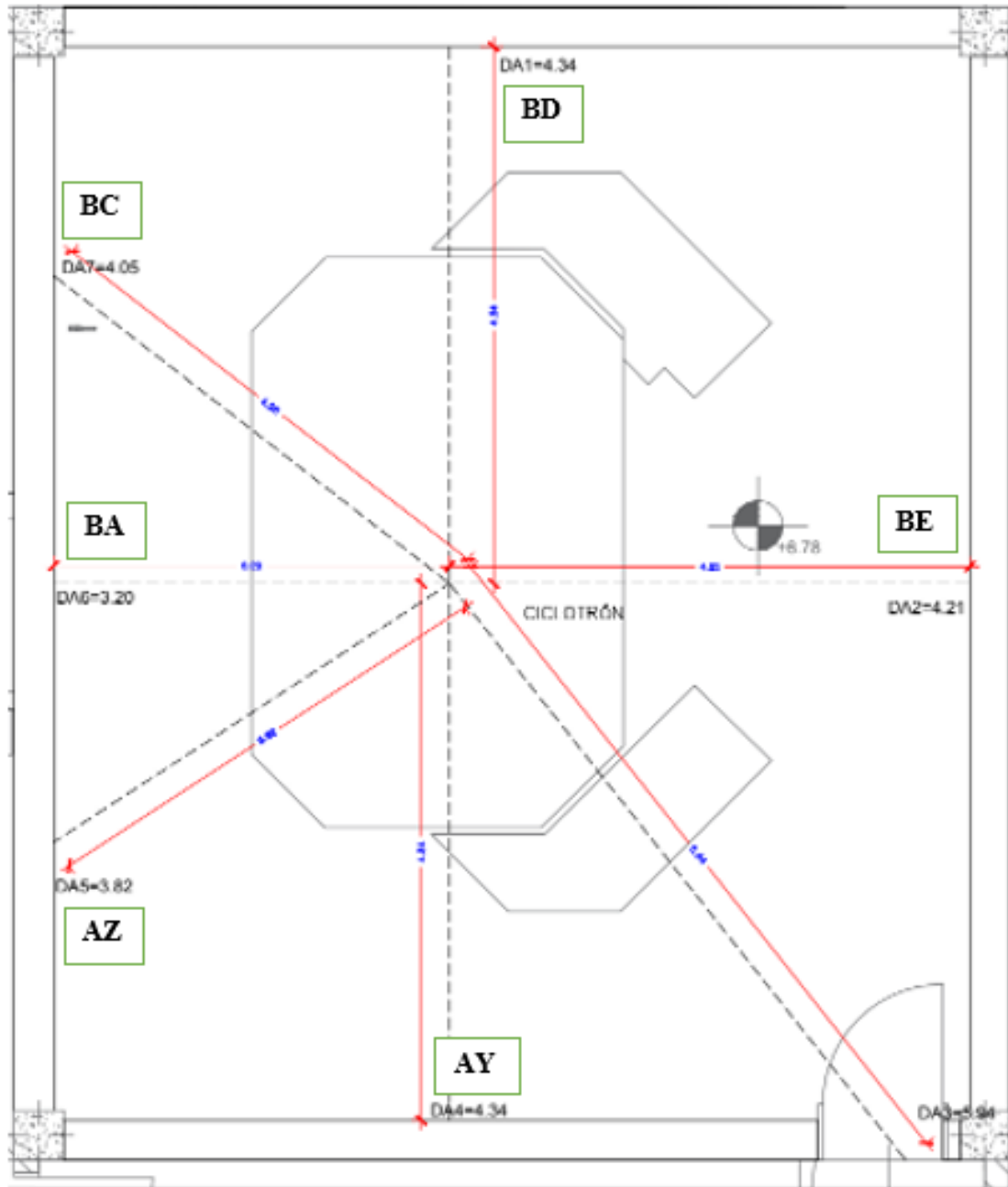


Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO BF

Puntos de intereses considerados en el ciclotrón

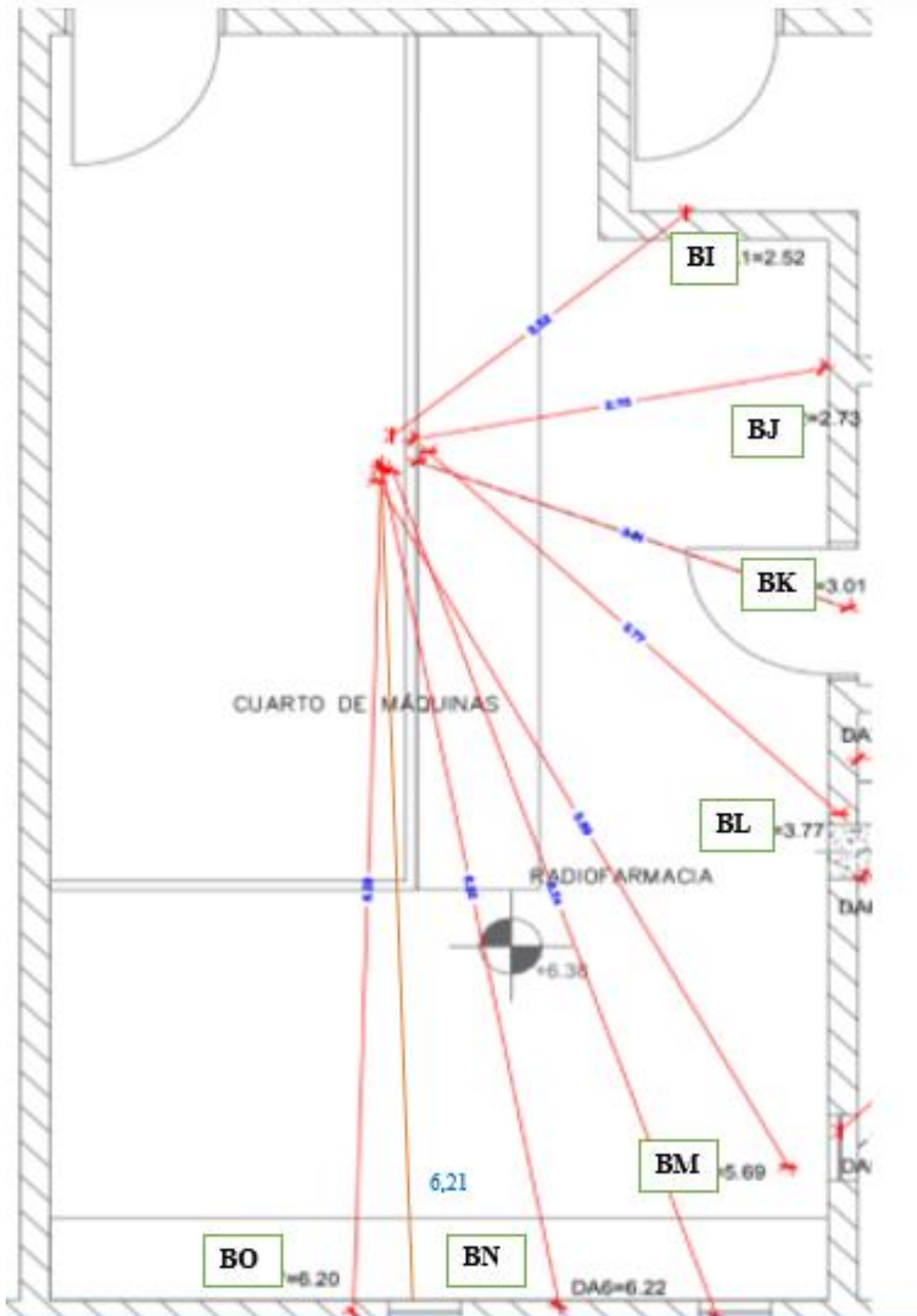


Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO BG

Puntos de intereses considerados en el laboratorio de radiofarmacia

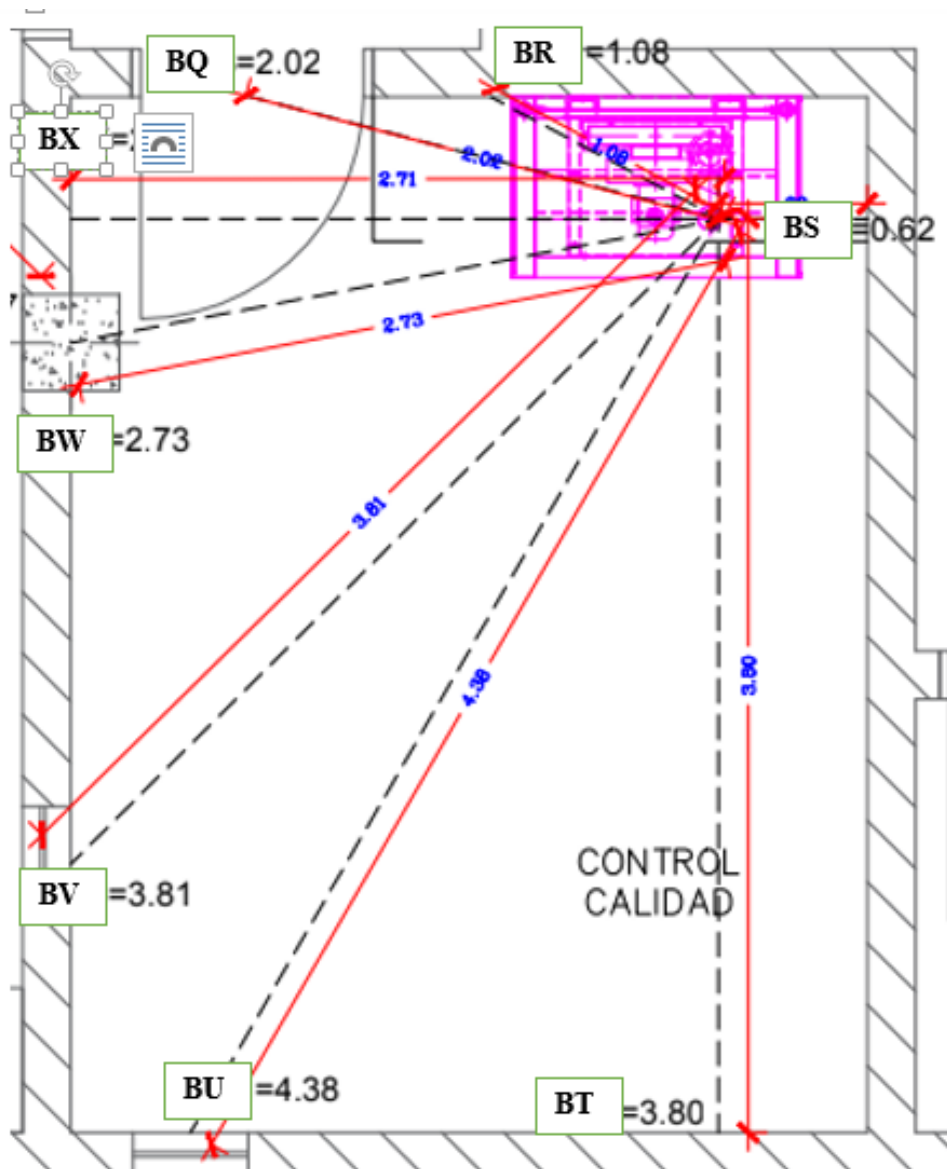


Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO BH

Puntos de intereses considerados en el cuarto de control de calidad



Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO BI

Certificado de calibración del detector Geiger – Müller

	SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES	
---	---	---

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DETECTORES DE RADIACIÓN

SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES
LABORATORIO DE CALIBRACIONES DOSIMÉTRICAS

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No.: **CAL 2086 - 2020**

SOLICITANTE:	HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CARLOS ANDRADE MARIN	FECHA DE CALIBRACIÓN:	2020-09-14
DIRECCIÓN:	AV. 18 DE SEPTIEMBRE S/N Y AYACUCHO		
INSTRUMENTO:	EQUIPO DIGITAL	Marca:	THERMO SCIENTIFIC
		Modelo:	RADEYE G - 10
		Serie:	30197
DETECTOR:	GEIGER MÜLLER		

Condiciones ambientales durante la calibración:

Temperatura (°C): **21,2** Presión (mbar): **708,9** Humedad rel. (%): **50%**

Instrumentos de Referencia:

Cámara de Ionización Marca - Modelo: **PTW - PTW-32002** Serie No: **576**
 Electrómetro Marca - Modelo: **PTW - UNIDOS Webline** Serie No: **533**

Revisión de Características del instrumento:

Chequeo Mecánico: **OK**
 Chequeo Audio y/o Alarma: **OK**

Condiciones de pruebas realizadas al instrumento:

Substracción de Background: **SI**
 Se determinó Linealidad: **SI**
 Fuentes de Calibración: **OB6**
 Atenuadores (mm): **22.0**
 Rango en Escala Normal (X1): **(0 - 1000) (uSv/h)**

DATOS DE CALIBRACIÓN PARA TASA DE DOSIS EQUIVALENTE POR RADIACIÓN GAMA CON CESIO 137				
ESCALA	FUENTE DE CALIBRACION	TASA DE DOSIS EQUIVALENTE DE REFERENCIA	LECTURA PROMEDIO DEL INSTRUMENTO	FACTOR DEL INSTRUMENTO Para incertidumbre k = 2
(0 - 1000) uSv/h	OB6	423,98 ± 4,82 uSv/h	429,41 uSv/h	0,99 ± 0,02

NOTA: LAS MEDICIONES REALIZADAS CON EL EQUIPO DEBEN SER OBLIGATORIAMENTE MULTIPLICADAS POR EL FACTOR INDICADO PARA DETERMINAR EL VALOR REAL

El Laboratorio de Calibraciones Dosimétricas (LCD) del Ecuador, certifica que el instrumento ha sido calibrado bajo las normas y procedimientos establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), tomando como referencia el Reporte de Seguridad Serie 16: Calibración de Instrumentos para Monitoreo de Protección Radiológica.

Este certificado no puede ser reproducido sin la autorización escrita del Laboratorio.

Elaborado por: **Dr. Carlos Chérrez**
 Fecha de Emisión: **2020-09-17**

Revisado por: **Ing. Enrique Arévalo**
 Responsable de Laboratorio LCD

Aprobado por: **Ing. Ruth Ayabaca**
 Directora de Aplicaciones Nucleares y Cooperación Técnica
 Firma de Responsabilidad

Dirección: Av. 12 de Octubre N16-114 y pasaje Nicolás Jiménez
 (frente al parque El Arbolito). Quito - Ecuador
 Casilla: 170403, Telf: 3976000 ext 2008 - 2028 - 2011
 Email: enrique.arevalo@recursosyenergia.gob.ec.


pag 1 de 1

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020

ANEXO BJ

Certificado de calibración de la cámara de ionización




Designer and Manufacturer
of
Scientific and Industrial
Instruments

www.ludlum.com

CERTIFICATE OF CALIBRATION

LUDLUM MEASUREMENTS, INC.
501 Oak Street
325-235-5494
Sweetwater, TX 79569, U.S.A.



CERT # 402

Customer COLE SA ORDER NO. 20372403

Mfg. Ludlum Measurements, Inc. Model 9DP Serial No. 25019056

Mfg. _____ Model _____ Serial No. _____

Cal. Date 19-Feb-20 Cal Due Date 19-Feb-21 Cal. Interval 1 Year Meterface Sv/hr

Check mark applies to applicable instr. and/or detector IAW mfg. spec. T. 73 °F RH 20 % All 704.8 mm

New Instrument Instrument Received Within Toler. +10% 10-20% Out of Tol. Requiring Repair Other-See comments

Mechanical ck. Meter Zeroed Background Subtract Input Sens. Linearity

F/S Resp. ck. Reset ck. Window Operation Geotropism

Audio ck. Alarm Setting ck. Batt. ck.

Calibrated in accordance with LMI SOP 14.8 Calibrated in accordance with LMI SOP 14.9

Instrument Volt Set _____ V Input Sens. _____ mV Del. Oper. _____ V at _____ mV Threshold Dial Ratio _____ =

HV Readout (2 points) Ref./Inst. _____ / _____ V Ref./Inst. _____ / _____ V

COMMENTS: Instrument is Auto-Ranging. **PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIEVERT "PR"** Institución: Hospital Carlos Andrade Marín

Peak value and integrated dose are the available functions. Dirección: AU Universitaria

All undocumented features are set to 0 (off) **2.7 NOV 2020** Equipo: PETCT

See attachment for instrument settings. *[Signature]*
FIRMA

Gamma Calibration: GM detectors positioned perpendicular to source except for M 44-9 in which the front of probe faces source.
Multimeter uncertainty within 1.3% of reading. Gamma uncertainty within 3.0% of reading. Neutron uncertainty within 7.0% of reading. Count rate uncertainty within 3.4% of reading

RANGE/MULTIPLIER	REFERENCE CAL. POINT	INSTRUMENT REC'D "AS FOUND READING"	INSTRUMENT METER READING
Auto	40mSv/hr		40.0mSv/hr
Auto	10mSv/hr		9.89
	4mSv/hr		4.00
	1mSv/hr		1.01
	400uSv/hr		401uSv/hr
	100uSv/hr		98.9
	40uSv/hr		40.2
	10uSv/hr		9.89
	4uSv/hr		4.00
	1uSv/hr		0.97

Range(s) Calibrated Electronically

Digital Readout	REFERENCE CAL. POINT	INSTRUMENT RECEIVED	INSTRUMENT METER READING	Log Scale	REFERENCE CAL. POINT	INSTRUMENT RECEIVED	INSTRUMENT METER READING

Ludlum Measurements, Inc. certifies that the above instrument has been calibrated by standards traceable to the National Institute of Standards and Technology, or to the calibration facilities of other International Standards Organization members, or have been derived from accepted values of natural physical constants or have been derived by the ratio type of calibration techniques. All pass/fail determinations are based on the manufacturer's specifications without considering uncertainty factors. Measurement results represent expanded uncertainties expressed at approximately the 95% level of confidence, using a coverage factor of k=2. The calibration system conforms to the requirements of ANSI/ISO 17025-1:2017 and ANSI/ISO 17025-2:2017. State of Texas Calibration License No. LO-1963

Reference Instruments and/or Sources: Cs-137 S/N: 059 2171CP 2261CP 720 734 781 1131 1616 1696 1909 1914CP 2324/2521

5717CO 5719CO 60446 70897 73410 E552 G112 2168CP S-394 S-1054 110081 110082 Neutron Am-241 Ba T-304 Ra-226 Y9

E551 5105 CSV280

Alpha S/N Beta S/N Other _____

m 500 S/N _____ Oscilloscope S/N _____ Multimeter S/N _____

Calibrator MANUELA AGUILAR *[Signature]* Title CALIBRATOR Date 19-Feb-20

QC'd By Manuela Aguilar Title Final QC Date 20 Feb 20

This certificate shall not be reproduced except in full without the written approval of Ludlum Measurements, Inc. FORM C22A 03/14/2019 Page 1 of 2

AC Inst. Passed Dielectric (Hi-Pot) and Continuity Test
Only Failed

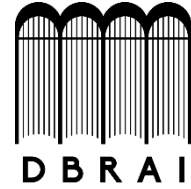
Escaneado con CamScanner

Fuente: Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, 2020.

Realizado por: Arguello Albiño, Marlon, 2020



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 / 04 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: MARLON STEVEN ARGUELLO ALBIÑO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: BIOFÍSICA
Título a optar: BIOFÍSICO
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0916-DBRAI-UPT-2021