



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

ELABORACIÓN DE FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO Y EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL MONITOREO AMBIENTAL DEL YODO MOLECULAR 131 EN EL ÁREA DE MEDICINA NUCLEAR DEL HOSPITAL ANDRADE MARÍN

Trabajo de titulación presentado para obtener el grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR: PEDRO DANIEL CADENA NOGALES

TUTORA: DRA. JHENY ORBE O.

Riobamba-Ecuador

2017

© (2017), Pedro Daniel Cadena Nogales

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.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

El Tribunal de Trabajo de titulación experimental certifica que: El trabajo de investigación: **“ELABORACIÓN DE FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO Y EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL MONITOREO AMBIENTAL DE YODO MOLECULAR EN EL ÁREA DE MEDICINA NUCLEAR DEL HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARÍN”**, de responsabilidad del señor egresado Pedro Daniel Cadena Nogales, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dra. Jenny Orbe

**DIRECTORA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

M.Sc. Nadia Gonzáles López

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Pedro Daniel Cadena Nogales, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Pedro Daniel Cadena Nogales
060493885-2

DEDICATORIA

A mi familia el amor incondicional que me han sabido brindar, me ha enseñado a amar plenamente que ese amor se múltiple en la sociedad, este pequeño trabajo no podría ser posible sin su apoyo.

Gracias de corazón...

Pedro Cadena

AGRADECIMIENTO

Al movimiento estudiantil Politécnicos Libres: Y con ello a todas las personas que no son indiferentes a la cruda realidad y luchan por cambiarla, juntos somos una *familia*.

Jheny Orbe: Porque junto a usted encontré una compañera de lucha buscando alcanzar una educación de calidad, la lucha nunca termina

Omar Suárez Oquendo: Porque junto a usted y su equipo me enseñaron a compartir el conocimiento y ser un buen profesional.

Dennys Colcha: Tu apoyo desinteresado me demostró que aún hay estudiantes humildes invaluable que luchan por investigar y aprender.

Anita y Vero: Porque me enseñaron el valor de la amistad, son y serán parte de mi vida.

Con mucho cariño: Pedro Cadena Nogales

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	
CAPITULO I	
1. MARCO REFERENCIAL	22
1.1 Filtros de Carbón Activado	22
1.1.2 <i>Producción</i>	22
1.1.3 <i>Propiedades</i>	23
1.1.4 <i>Estructura</i>	23
1.1.5 <i>Características físico-químicas</i>	24
1.1.5.1 <i>Composición química</i>	24
1.1.5.2 <i>Estructura física</i>	24
1.1.6 <i>Tipos de poros dentro de una partícula de carbón</i>	24
1.1.6.1 <i>Microporos</i>	24
1.1.6.2 <i>Mesoporos</i>	24
1.1.6.3 <i>Macroporos</i>	25
1.1.6.4 <i>Poros de adsorción.</i>	25
1.1.6.5 <i>Poros de transporte</i>	25
1.1.7 <i>Adsorción</i>	25
1.1.7.1 <i>Tipos de Adsorción</i>	26
1.1.8 <i>Absorción</i>	26
1.1.8.1 <i>Tipos de Absorción</i>	26
1.1.9 <i>Carbón Activado para la adsorción y absorción de Yodo radiactivo</i>	27
1.1.10 <i>Impregnación de carbón activado</i>	27
1.1.10.1 <i>Trietilenglicol diamina (TEDA)</i>	28
1.1.10.2 <i>Hidroxido de sodio (NaOH)</i>	28

1.2	Monitoreo de Yodo radiactivo.....	29
<i>1.2.1</i>	<i>Yodo 131.....</i>	<i>225</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Decaimiento radiactivo de Yodo 131.....</i>	<i>226</i>
<i>1.2.3</i>	<i>Niveles gamma de energía.....</i>	<i>30</i>
<i>1.2.4</i>	<i>Monitoreo de aire para detección de Yodo radiactivo en medicina nuclear.....</i>	<i>31</i>
<i>1.2.5</i>	<i>Procedimiento para el monitoreo de Yodo radiactivo.....</i>	<i>31</i>
1.3	Descripción del Hospital Carlos Andrade Marín (HCAM).....	32
<i>1.3.1</i>	<i>Descripción del área de medicina nuclear del HCAM.....</i>	<i>32</i>
CAPITULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO.....	33
2.1	Características de equipos experimentales.....	33
<i>2.1.1</i>	<i>iCam Alfa/Beta Air Monitor.....</i>	<i>33</i>
<i>2.1.1.1</i>	<i>Funcionamiento del equipo.....</i>	<i>33</i>
<i>2.1.1.2</i>	<i>Detector.....</i>	<i>34</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Espectrómetro gamma de germanio hiper puro.....</i>	<i>35</i>
<i>2.1.2.1</i>	<i>Partes estructurales.....</i>	<i>36</i>
<i>2.1.2.2</i>	<i>Características técnicas.....</i>	<i>37</i>
<i>2.1.2.3</i>	<i>Diseño de la unidad detectora (DU).....</i>	<i>37</i>
<i>2.1.2.4</i>	<i>Diseño del blindaje de plomo para la detección de bajo background.....</i>	<i>40</i>
2.2	Variables dependientes e independientes.....	41
2.3	Tipos y caracterización de pruebas experimentales.....	42
<i>2.3.1</i>	<i>Fabricación de filtros de Carbón Activado.....</i>	<i>42</i>
<i>2.3.1.1</i>	<i>Pruebas de materiales.....</i>	<i>42</i>
<i>2.3.1.2</i>	<i>Impregnación y reactivación de carbón activado.....</i>	<i>42</i>
<i>2.3.1.3</i>	<i>Impregnación de NaOH.....</i>	<i>42</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Calibración de los filtros mediante un método de transferencia.....</i>	<i>44</i>
<i>2.3.3</i>	<i>Monitoreo de Yodo radiactivo.....</i>	<i>44</i>
2.4	Recolección, organización y procesamiento de datos.....	45
<i>2.4.1</i>	<i>Resultados de filtros estándar.....</i>	<i>45</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Resultados de filtros de Carbón Activado en mediciones en campo.....</i>	<i>49</i>
2.5	Modelación matemática de la experimentación (diseño experimental).....	62
<i>2.5.1</i>	<i>Calibración en eficiencia.....</i>	<i>63</i>
<i>2.5.2</i>	<i>Curva de calibración de eficiencia en valores de energía.....</i>	<i>65</i>
<i>2.5.3</i>	<i>Calculo de la eficiencia para Tecnecio 99.....</i>	<i>66</i>

CAPITULO III

3.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	67
3.1	Resultados de filtros estándar.....	67
3.2	Resultados de monitoreo en campo.....	67
3.3	Curvas características de la experimentación.....	68
3.3.1	<i>Filtros estándar.....</i>	69
3.3.1.1	<i>Filtro estándar A.....</i>	69
3.3.1.2	<i>Filtro estándar B.....</i>	70
3.3.1.3	<i>Filtro estándar C.....</i>	71
3.3.1.4	<i>Filtro estándar D.....</i>	72
3.3.1.5	<i>Filtro estándar E.....</i>	73
3.3.2	<i>Filtros de medición en campo (medicina nuclear hcam).....</i>	74
3.3.2.1	<i>Filtro HCAM 1 Cuarto Caliente en fraccionamiento I 131 09/09/2016.....</i>	74
3.3.2.2	<i>Filtro HCAM 2 Cuarto Pacientes (2 Pacientes) 14/09/2016.....</i>	75
3.3.2.3	<i>Filtro HCAM 3 Cuarto Pacientes (1 Paciente) 14/09/2016.....</i>	76
3.3.2.4	<i>Filtro HCAM 4 Cuarto Pacientes (1 paciente) 15/09/2016.....</i>	77
3.3.2.5	<i>Filtro HCAM 5 Sala de espera 15/09/2016.....</i>	78
3.3.2.6	<i>Filtro HCAM 6 (Bodega de decaimiento) 16/09/2016.....</i>	79
3.3.2.7	<i>Filtro HCAM 7 Cuarto Caliente 3 días después del fraccionamiento 16/09/2016.....</i>	80
3.3.2.8	<i>Filtro HCAM 8 Cuarto Caliente en fraccionamiento 16/09/2016.....</i>	81
3.3.2.9	<i>Filtro HCAM 9 gamma cámara radiólogos 22/09/2016.....</i>	82
3.3.2.10	<i>Filtro HCAM 10 Cuarto Caliente 22/09/2016.....</i>	83
3.3.2.11	<i>Filtro HCAM 11 Oficina 22/09/2016.....</i>	84
3.3.2.12	<i>Filtro HCAM 12 Sala de espera 23/09/2016.....</i>	85
3.3.2.13	<i>Filtro HCAM 13 Oficina (fraccionamiento en curso) 23/09/2016.....</i>	86
3.3.3	<i>Fondo espectrómetro gamma después del monitoreo.....</i>	87
3.3.4	<i>Fondo Filtro sin uso.....</i>	88
3.4	Análisis Espectral.....	89
	CONCLUSIONES.....	90
	RECOMENDACIONES.....	91
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1-1 Intensidad gamma de ^{131}I	30
Tabla 1-2 Parámetros de funcionamiento del Espectrómetro Gamma de Germanio hiper puro	37
Tabla 2-2 Variables dependientes e independientes.....	41
Tabla 3-2 Resultados de filtros de calibración – filtro A.....	45
Tabla 4-2 Resultado de filtros de calibración- filtro B.....	46
Tabla 5-2 Resultado de filtros de calibración- filtro C.....	46
Tabla 6-2 Resultado de filtros de calibración- filtro D.....	47
Tabla 7-2 Resultado de filtros de calibración- filtro E.....	48
Tabla 8-2 Promedios de eficiencia representativos de filtro.....	49
Tabla 9-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto caliente en fraccionamiento.....	50
Tabla 10-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto pacientes (2).....	51
Tabla 11-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto pacientes 1(1)...	52
Tabla 12-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto pacientes 2(1) ...	53
Tabla 13-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-sala de espera.....	54
Tabla 14-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Bodega de decaimiento	55
Tabla 15-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados:Cuarto caliente 3 días después del fraccionamiento.....	56
Tabla 16-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto caliente en fraccionamiento.....	57
Tabla 17-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-sala de Gama cámara...	58
Tabla 18-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto caliente en fraccionamiento.....	58
Tabla 19-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Oficina.....	59
Tabla 20-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Sala de espera.....	60
Tabla 21-2 Registro de valores de actividad por lugares muestreados-oficina físico medico fraccionamiento en curso.....	61
Tabla 22-2 Ecuación representativa de la eficiencia.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1-1. (a) Arreglo estructural de las capas planas del grafito (b) Estructura propuesta de las capas de carbón activado.....	23
Figura 2-1. Retención de yodo CA con Microscopía electrónica de barrido antes.....	27
Figura 3-1. Esquema completo de decaimiento radiactivo del ^{131}I tomando en cuenta estados metaestables.....	30
Figura 1-2. Filtros del equipo iCam Alfa/Beta Air Monitor.....	34
Figura 2-2. Equipo iCam alpha beta air monitor	35
Figura 3-2. Visión general de la unidad detectora y el blindaje de plomo	38
Figura 4-2. Espectrometro gama de germanio híper puro- descripción de sus partes principales externas	40
Figura 5-2. Espectrómetro gama de germanio híper puro- descripción de sus partes principales internas.....	40
Figura 6-2. Filtro fabricados a base de carbón activado.....	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-2. Grafica Eficiencia vs Energía.....	65
Gráfica 1-3. Espectro estándar A con presencia de I-131.....	69
Gráfica 2-3. Espectro estándar B con presencia de I-131.....	70
Gráfica 3-3. Espectro estándar C con presencia de I-131.....	71
Gráfica 4-3. Espectro estándar D con presencia de I-131.....	72
Gráfica 5-3. Espectro estándar E con presencia de I-131.....	73
Gráfica 6-3. Espectro medición en campo: cuarto caliente con presencia de I-131 y Tc-99.....	74
Gráfica 7-3. Espectro en medición en campo: cuarto pacientes con presencia de I-131 (2p)....	75
Gráfica 8-3. Espectro de medición en campo: cuarto pacientes con presencia de I-131 (1p)....	76
Gráfica 9-3. Espectro de medición en campo: Cuarto pacientes con presencia de I-131 (1p)...	77
Gráfica 10-3. Espectro de medición en campo: Sala de espera con presencia de I-131.....	78
Gráfica 11-3. Espectro de medición en campo: Bodega de decaimiento con presencia de I131.	79
Gráfica 12-3. Espectro de medición en campo: Cuarto Caliente 3 días del fraccionamiento con presencia de I-131.....	80
Gráfica 13-3. Espectro de medición en campo: Cuarto caliente en fraccionamiento con presencia de I-131.....	81
Gráfica 14-3. Espectro de medición en campo: gamma cámara radiólogos con presencia de Tc99.....	82
Gráfica 15-3. Espectro de medición en campo: cuarto caliente con presencia de Tc99.....	83
Gráfica 16-3. Espectro de medición en campo: oficina con presencia de Tc99.....	84
Gráfica 17-3. Espectro de medición en campo: sala de espera con presencia de Tc99.....	85
Gráfica 18-3. Espectro de medición en campo: oficina (fraccionamiento en curso) con presencia de Tc99.....	86
Gráfica 19-3. Espectro fondo del espectrómetro gamma después del monitoreo.....	87
Gráfica 20-3. Espectro fondo filtro sin uso.....	88

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo A	95
Anexo B	98

RESUMEN

El monitoreo ambiental de aerosoles es fundamental para cumplir con estándares internacionales de protección radiológica y dentro de está la protección radiológica en la exposición ocupacional, en el área de medicina nuclear donde se trabaja con yodo 131 (^{131}I) se realizó un monitoreo de aerosoles el cual resulta fundamental al ser un radionúclido que se transmite en el aire.; además la inhalación de ^{131}I es la causa más grande de dosis interna de radiación que reciben los trabajadores de medicina nuclear. La concentración de ^{131}I en el aire está limitada por la concentración aérea derivada (DAC) de 416,67 Bq/m³. Para determinar la concentración de yodo radiactivo en aire se fabricaron filtros a base de carbón activado impregnados con hidróxido de sodio (NaOH) al 2% capaces de absorber y adsorber yodo radiactivo; siendo importante encontrar el valor de eficiencia de los filtros de carbón activado para cuantificar los valores del monitoreo en campo utilizando espectrometría gamma; finalmente se realizó un monitoreo en las diferentes áreas del departamento de medicina nuclear del Hospital Carlos Andrade Marín (HCAM) como son: Cuarto de fraccionamiento, sala de espera, oficina del físico médico, bodega de decaimiento, sala de gama cámaras y el cuarto de los pacientes donde el valor más alto en concentración de yodo radiactivo es 2 órdenes de magnitud menor al límite DAC. Se concluyó que las condiciones de trabajo son satisfactorias para minimizar la dosis equivalente interna de radiación recibida por el personal ocupacionalmente expuesto (POE); adicionalmente se encontraron valores de tecnecio 99 (^{99}Tc) presentes en el ambiente por lo cual se recomienda ampliar el trabajo realizado para determinar si existe algún peligro debido a la presencia de este radionúclido.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS MÉDICAS>, <MEDICINA NUCLEAR>, <CARBÓN ACTIVADO>, <FABRICACIÓN DE FILTROS>, <MONITOREO AMBIENTAL DE YODO RADIATIVO>, <HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARÍN>, <MONITOREO DE AEROSOL >, <HIDROXIDO DE SODIO>.

SUMMARY

The environmental monitoring of aerosols is fundamental to comply with international standards of radiological protection and within this, the radiological protection in the occupational exposure. In the area of nuclear medicine where iodine 131 (^{131}I) is used, aerosol monitoring was performed, which is essential because it is a radionuclide that is transmitted in the air; In addition, inhalation of ^{131}I is the largest cause of internal radiation dose received by nuclear medicine workers. The concentration of ^{131}I in air is limited by the derived air concentration (DAC) of 416,67 Bq/m³. To determine the concentration of radioactive iodine in air, activated carbon based filters impregnated with 2% sodium hydroxide (NaOH) capable of absorbing and adsorbing radioactive iodine were manufactured, important to find the efficiency value of the activated carbon filters to quantify the values of the field monitoring using gamma spectrometry. Finally, a monitoring was carried out in the different areas of the nuclear medicine department of the Hospital Carlos Andrade Marin (HCAM), such as: Fourth fractionation room, waiting room, office of the medical physicist, cellar of decay, room chamber cameras and the patients room where the highest value in radioactive iodine concentration in 2 orders of magnitude is lower than the DAC limit. It was concluded that working conditions are satisfactory to minimize the equivalent internal radiation dose received by occupationally exposed personnel (POE); additionally, technetium 99 (^{99}Tc) values were present in the environment and it is therefore recommended to extend the work to determine if there is any danger the presence of this radionuclide.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND MEDICAL SCIENCES > <NUCLEAR MEDICINE>
<ACTIVATED CARBON> <PRODUCTION OF FILTERS> <RADIOACTIVE IODINE
ENVIRONMENTAL MONITORING> <CARLOS ANDRADE MARIN HOSPITAL>
<AEROSOL MONITORING> <SODIUM HYDROXIDE>.

INTRODUCCIÓN

EL carbón activado es una sustancia sólida que posee la fuerza de adsorción física más fuerte conocida por la humanidad debido a su porosidad, su superficie específica es muy grande, pudiendo llegar a tener 1000 m²/g, donde por ejemplo 5 g de carbón activado pueden tener la superficie de un campo de fútbol.

El primer uso industrial a gran escala se da en Londres en 1854, donde se instalan filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de las cloacas para impedir el paso de malos olores, donde es evidente el gran poder que posee el carbón activado para adsorber elementos aerosoles; a partir de esto aparecen las primeras mascarillas con filtros de carbón activado utilizados en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio.

El carbón activado (CA) se utiliza para una amplia gama de aplicaciones, tales como separación de gases, recuperación de solventes, eliminación de contaminantes orgánicos del agua potable, catalizador y apoyo en varios sectores industriales como la alimentación, farmacéutica y química. En el ámbito de la Industria nuclear, se utiliza para adsorber yodo radiactivo que se encuentra en forma de aerosol. Es el adsorbente más utilizado debido a su gran capacidad de adsorción y a su bajo costo.

El yodo 131 radiactivo es uno de los radionúclidos más peligrosos debido al alto potencial de absorción que tiene el cuerpo humano sobre él, especialmente por la glándula tiroides, donde surge la necesidad de realizar tratamientos para cáncer de tiroides que garanticen un adecuado sistema de protección radiológica y minimicen la afectación al POE y a los pacientes; para dicho tratamiento el departamento de medicina nuclear utiliza ¹³¹I donde se puede dar una posible ingesta ya que este radionúclido se transporta en el aire en forma de aerosol.

En este trabajo se pretende fabricar filtros de carbón activado impregnado con NaOH al 2% para el monitoreo de yodo radiactivo en el ambiente, aprovechando procesos de adsorción y absorción para una posterior cuantificación utilizando espectrometría gamma

Antecedentes

En Tebas (Grecia) en 1150 a.C. se dan los primeros usos del carbón activado en el ámbito de la medicina, donde el carbón vegetal es utilizado en prácticas médicas y posteriormente en 400 a.C., Hipócrates recomienda filtrar el agua con carbón vegetal para eliminar malos olores y sabores buscando prevenir enfermedades.

La primera aplicación industrial del carbón activado tuvo lugar en 1794, en Inglaterra, utilizándose como agente decolorante en la industria del azúcar. Esta aplicación permaneció en secreto por 18 años hasta que en 1812 apareció la primera patente. En 1854 tiene lugar la primera aplicación a gran escala del carbón activado para tratamiento de gases, cuando el alcalde de Londres ordena instalar filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de las cloacas. En 1872 aparecen las primeras máscaras con filtros de carbón activado utilizadas en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio. (Ariza, 2012 pág. p.22)

En 1960 el laboratorio nacional de OAK RIDGE elabora para la comisión de energía atómica de estados unidos un informe sobre la remoción de yodo radioactivo de las corrientes de aire con carbón activado donde se estudia la eficiencia de este material en función de la profundidad del carbón activado, lo cual representa una de las primeras aplicaciones con relación a su captación de aerosoles yodados radiactivos y determina que el carbón activado es un excelente adsorbente de I^{131} , I^{127} con la adición de algunas sustancias como tiras de cobre y plata que mejoran sus propiedades (Removal of radiodine from air streams by activated characoal., 1960 pág. p.12)

Gavila (Radioiodine collection filter efficiency testing program at F&J specialty products, INC., 2002 pág. p.32) durante el workshop anual de REMP desarrollada en Atlantic city (USA) establece los parámetros básicos a ser probados durante la medición de la eficiencia de captación de yodo siendo los más importantes:

- ✚ Espesor del adsorbente
- ✚ Velocidad de flujo a través del filtro
- ✚ Temperatura del flujo muestreado
- ✚ Humedad relativa del flujo muestreado
- ✚ Tipo de Adsorbente
- ✚ Tamaño de partícula del adsorbente en el filtro
- ✚ Duración del muestreo

Compactación del carbón

Las diversas industrias que fabrican filtros de carbón activado para su uso como captadores deben efectuar pruebas similares anteriormente citadas como ejemplo de ello en Atlantic City, New Jersey del 24 al 26 de junio de 2002 en el F&J SPECIALTY PRODUCTS, INC donde determinan que la eficiencia de retención de yodo orgánico se incrementa al disminuir el tamaño de partícula, es de esperarse que pequeños tamaños de partícula presenten una gran área superficial por peso de material. (Radioiodine collection filter efficiency testing program at F&J specialty products, INC., 2002 pág. p.35)

La empresa Camberra ubicada en reino unido presenta comercialmente los filtros para medición de yodo utilizando el equipo iCam alfa beta monitoring los cuales son capaces de retener yodo molecular, así como también en conjunto con el equipo discriminan valores de fondo para obtener medidas más precisas. (Canberra, 2008 pág. p.44)

En el año 2011 en cumplimiento a sus funciones la Sub Secretaria de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) realiza un monitoreo radiológico a los efluentes radiactivos de tres servicios de medicina nuclear en Ecuador donde podemos encontrar valores de tasas de dosis a nivel de la alcantarilla de 2 órdenes de magnitud mayor al fondo referentes a I^{131} (Monitoreo radiológico a los efluentes radiactivos de tres servicios de medicina nuclear en ecuador, 2013 pág. p.11)siendo necesario realizar un monitoreo ambiental para completar el estudio realizado así como también verificar bajo las actuales condiciones de trabajo del área de medicina nuclear del Hospital Carlos Andrade Marín (HCAM), los niveles de exposición del POE y el público.

En el año 2014 la Organización de Energía Atómica de Irán en coordinación con la universidad Payan Noor prueban diferentes materiales de impregnación en carbón activado para la adsorción de yodo radiactivo, determinando que el NaOH tiene un 99,65% de eficiencia reteniendo yodo radiactivo sobre otros compuestos químicos que llegan al 54% de eficiencia, así como también determinan que si la concentración excede el 2% la eficiencia disminuye debido a la saturación en los poros del carbón activado. (Effect of impregnating materials in activated carbon on Iodine -131 removal efficiency, 2014 pág. p.181).

Planteamiento del problema

La vigilancia radiológica ambiental rutinaria en el área de medicina nuclear es indispensable para mantener los índices de seguridad radiológica dentro de los rangos permitidos por las entidades nacionales e internacionales de regulación y control; específicamente el monitoreo de aerosoles

radiactivos es una tarea primordial en áreas donde existe una o más fuentes radiactivas. Con el fin de implementar un plan de protección radiológica, los oficiales de protección radiológica requieren el ingreso de información técnica para precautelar la salud y seguridad del público y personal ocupacionalmente expuesto.

El Hospital Carlos Andrade Marín (HCAM) cuenta con el área de Medicina Nuclear, donde se realiza diagnóstico de 26 enfermedades y alrededor de 400 pacientes utilizando gammagrafía y se realizan tratamientos de yodo terapia e hipertiroidismo de aproximadamente 30 pacientes mensualmente, laboran aproximadamente 9 personas. Dentro de estos servicios se encuentra la directa manipulación de yodo 131 y tecnecio 99, la cual implica uso, fraccionamiento y desecho de yodo radiactivo (I131). Esta actividad constituye una fuente de contaminación ambiental en el área, la cual debe ser cuantificada y controlada en el caso de exceder los límites permitidos.

Las partículas radioactivas presentes en el en aire representan una amenaza latente para salud de las personas expuestas. Por ende, la identificación y cuantificación de estos radionúclidos contaminantes es un componente esencial para los planes de salud y seguridad implementados por los oficiales de protección radiológica.

Actualmente en el Ecuador no existe un programa de monitoreo ambiental de aerosoles radiactivos por parte de la subsecretaría de control y aplicaciones nucleares debido a que no se dispone de la tecnología específica para realizar estas mediciones sin embargo la SCAN cuenta con espectrometría gama de germanio híper puro la cual necesita ser complementado con recolectores de carbón activado que permitan obtener medidas confiables.

La falta de cuantificación de la contaminación volumétrica del personal ocupacionalmente expuesto por Yodo molecular no permite implementar un sistema integral de protección radiológica en el área de medicina nuclear.

Justificación

La Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) es la dependencia del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables encargada del control y regulación del uso pacífico de las radiaciones ionizantes en el Ecuador. La SCAN ejerce sus funciones basada en reglamentos nacionales y en las recomendaciones emitidas desde el Organismo Internacional de Energía Atómica, fomentando siempre el mantenimiento de altos estándares de protección radiológica y seguridad física en las instalaciones donde se operan fuentes de radiación ionizante.

En lo relativo al cumplimiento de los estándares de seguridad radiológica el Ecuador está involucrado en diversas áreas temáticas de seguridad radiológica; entre las que podemos mencionar el área temática dos, sobre la protección radiológica en la exposición ocupacional, en la cual es necesario realizar un monitoreo ambiental del lugar de trabajo que involucran la determinación de niveles de radiactividad presentes en el aire producto de las prácticas de medicina nuclear. (Agencia Internacional de Energía Atómica , 2011).

El presente proyecto contribuye con el cumplimiento del Objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, que procura el fortalecimiento de la vigilancia y control de posibles riesgos que causen morbilidad o mortalidad evitable. Un monitoreo ambiental en el área de medicina nuclear establece niveles de contaminación que nos permiten determinar si es necesario un mejoramiento de las instalaciones físicas disminuyendo el riesgo al POE y a los pacientes.

El uso de carbón activado tratado con hidróxido de sodio usando parámetros específicos para la fabricación de filtros es importante porque permite generar un proceso de adsorción de yodo molecular permitiendo retener el yodo el tiempo suficiente para ser analizado en el espectrómetro gamma.

Este estudio es viable debido a que se proporcionan todas las facilidades que prestará el departamento de medicina nuclear del Hospital Andrade Marín y con el respaldo del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) a la cual pertenece la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) que cuenta con los materiales y equipamiento necesario para realizar el trabajo.

OBJETIVOS

Objetivo General

- ✚ Elaborar filtros de carbón activado y evaluar su eficiencia en el monitoreo ambiental de I^{131} en el área de medicina nuclear del hospital Carlos Andrade Marín.

Objetivos Específicos

- ✚ Elaborar filtros de carbón activado para la detección de I^{131} en el área de medicina nuclear del hospital Andrade Marín.
- ✚ Instalar los filtros de carbón activado en sitios estratégicos, según registros de monitoreo de áreas, en el área de medicina nuclear del HCAM.
- ✚ Evaluar la eficiencia de los filtros de carbón activado utilizando métodos estándar.
- ✚ Determinar los lugares de mayor concentración de I^{131} en el área de medicina nuclear del Hospital Andrade Marín.
- ✚ Monitorear los niveles de radiación ambiental gamma en el área de medicina nuclear del hospital Andrade Marín para determinar si existe contaminación por I^{131} .

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

1.1 Filtros de carbón activado

1.1.1 Carbón Activado

El carbón activado (CA) es una sustancia solida negra la cual puede ser granulada o en polvo, tiene las fuerzas de adsorción física más fuerte conocida por la humanidad debido a su porosidad adsorbente donde su superficie especifica es muy grande, pudiendo llegar a tener 1000 m²/g, donde por ejemplo 5 g de carbón activado pueden tener la superficie de un campo de futbol. (Production of Activated Carbon from Palm Oil Shell Waste and Its Adsorption Characteristics., 2006 pág. p.1).

El carbón activado está formado principalmente de carbono (87-97) % y en menor cantidad de hidrogeno, oxigeno, azufre y nitrógeno, el proceso de activación permite al carbón obtener propiedades de adsorción (Activated charcoal for acute poisoning, 2010 pág. p.2).

El (CA) ha sido utilizado en un sin número de aplicaciones incluyendo separación de gases, recuperación de disolventes, eliminación de contaminantes orgánicos del agua potable y como un apoyo a varios sectores industriales como alimentación, farmacéutica y química; debido a su bajo costo y su alto poder de adsorción el CA es utilizado también en la industria nuclear como adsorbente de yodo radioactivo. (Application Of iron impregnated activated carbon for removal of arsenic from water, 2010 pág. p.1).

1.1.2 Producción

La materia prima utilizada es coco de palma africana las cuales para ser activadas requieren de altas temperaturas (activación física), la activación química no es recomendada por la alta presencia de residuos, que incluso persisten después del lavado (General study about activated carbon for adsorption carbon dioxide, 2012 pág. p.238).

1.1.3 Propiedades

El primer uso de carbón activado es como purificador, y en la actualidad se lo utiliza para remover color, olor y sabor de muchos productos; la elevada capacidad de eliminación de elementos se da debido a su alta superficie interna que posee teniendo aplicaciones desde sencillas peceras o filtros de refrigerador, hasta complejos sistemas industriales como modernas plantas de tratamiento de aguas residuales o delicados sistemas de elaboración de antibióticos (Sevilla, 2000 pág. p.6).

Siendo dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado:

- Elevada capacidad de eliminación de sustancia.
- Baja selectividad de retención (adsorbente universal).

1.1.4 Estructura

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito solo que el orden en la estructura del carbón activado es menos perfecto como podemos verlo en la figura 1; es extremadamente poroso. El área de superficie del carbón activado varía dependiendo de la materia prima y del proceso de activación. Son las altas temperaturas, la atmósfera especial y la inyección de vapor del proceso de fabricación del carbón activado lo que activa y crea la porosidad, dejando mayormente una esponja de esqueleto de carbón. (Asenjo, 2014 pág. p.33).

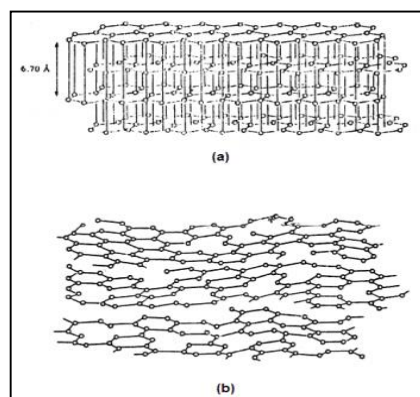


Figura 1-1 (a) Arreglo estructural de las capas planas del grafito.
(b) Estructura propuesta de las capas de carbón activado

Fuente: (Asenjo, 2014)

1.1.5 Características físico-químicas

1.1.5.1 Composición química

El termino carbón activado engloba una gran cantidad de materiales que se diferencian por su estructura interna, siendo los parámetros más importantes: (Universidad de Sevilla, 2000 pág. p.15)

- ✚ Distribución de poros
- ✚ Superficie específica
- ✚ Granulometría

Desde el punto de vista de la composición química, el carbón activado es prácticamente puro, al igual que el diamante, el grafito y en general diversos carbones a base de leña, todos estos elementos tienen la propiedad de adsorber, es un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa a cierto tipo de moléculas, llamados adsorbatos las cuales están contenidas en un líquido o un gas.

1.1.5.2 Estructura física

El carbón activado posee una estructura similar al grafito donde tenemos distribuciones de poros bien marcados que le dan características propias.

1.1.6 Tipos de poros dentro de una partícula de carbón.

El tamaño y volumen de los poros son importantes para obtener una máxima adsorción, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada define 3 tipos de porosidades tomando en cuenta su tamaño: (Reporting Physisorption Data For Gas/Solid Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity, 1982 pág. p.54)

1.1.6.1 Microporos

Son poros de diámetro < 2 nm y se utilizan en el proceso de adsorción.

1.1.6.2 Mesoporos

Son poros de un diámetro en un rango de 2-50 nm y se utilizan en el proceso de transporte.

1.1.6.3 Macroporos

Son poros de diámetro $>$ a 50 nm y se utilizan en el proceso de entrada de adsorbente al filtro. Los diferentes tamaños de poros no solo determinan la capacidad de adsorción en los filtros, también influyen en la cinética de adsorción por lo tanto buscamos tener filtros de tamaño homogéneo logrando equilibrar el nivel de adsorción con la velocidad con la que se produce la reacción.

Además, el carbón activado puede que puede clasificarse de acuerdo con su función, en poros de adsorción y poros de transporte.

1.1.6.4 Poros de adsorción

Consisten en espacios entre placas gráficas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En estos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza.

1.1.6.5 Poros de transporte

Son poros mayores que los de adsorción y tienen un rango muy amplio de tamaños, que van hasta el de las grietas que están en el límite detectable para la vista y que corresponden a 0.1mm. En esta clase de poros, sólo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y entonces lo hace con una fuerza menor, insuficiente para retenerlo. Así, los poros de transporte actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en los que hay una atracción mayor; por lo tanto, aunque tiene poca influencia en la capacidad del carbón activado, afectan la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción.

1.1.7 Adsorción

Es la adquisición de uno o más componentes en la capa interfacial, en dicho proceso el material a ser adsorbido es transferido y acumulado en la capa interfacial, dicha capa consta de dos partes: la capa superficial del adsorbente y el espacio de adsorción donde el material a ser adsorbido es almacenado, la adsorción está relacionada con dos aspectos importantes: el tamaño del poro y el área superficial.

1.1.7.1 Tipos de Adsorción

Fisisorción

Se da mediante procesos físicos como la intervención de las fuerzas moleculares, fuerzas repulsivas de corto alcance e interacciones moleculares específicas como: polarización y dipolo de campo, estas ocurren cuando tenemos propiedades geométricas y electrónicas afines entre el adsorbente y el adsorbato.

Quimisorción

Ésta es menos frecuente, este tipo de adsorción suele ser irreversible debido a que ocurren modificaciones de las estructuras químicas del adsorbato y del adsorbente, donde se producen reacciones químicas que enlazan el adsorbato en el interior de la capa interfacial.

1.1.8 Absorción

Es un proceso de transferencia de elementos minoritarios de un componente gaseoso a un agente absorbente, es un proceso en el cual las moléculas o átomos de una fase interpenetran casi uniformemente en los de otra fase constituyéndose una solución la cual puede ser reversible o irreversible. (Radioiodine collection filter efficiency testing program at F&J specialty products, INC., 2002 pág. p.5)

1.1.8.1 Tipos de absorción

Absorción Física

El gas se absorbe al tener mayor solubilidad en el solvente que otros gases que pueden estar presentes en el ambiente.

Absorción Química

El gas se absorbe al reaccionar con elementos químicos en el solvente y forma parte de la solución, este proceso puede ser reversible o irreversible. (Wankat, 2008 pág. p.385).

1.1.9 Carbón activado para la adsorción y absorción de Yodo radiactivo

Los principales estudios sobre el uso de carbón activado con aplicaciones para materiales radiactivos se da como procesos de descontaminación de ambientes con presencia de ^{131}I ; donde mediante la impregnación de sustancias químicas se busca mejorar su capacidad de retención (Effect of impregnating materials in activated carbon on Iodine -131 removal efficiency, 2014); es importante considerar que gracias al proceso de impregnación que sufre el carbón activado con sustancias químicas sumado a la gran porosidad que posee su estructura; el carbón activado es capaz de absorber y adsorber no solo para eliminar elementos radiactivos del ambiente si no también puede ser utilizado para cuantificarlos al retenerlos en su interior y posteriormente ser analizarlos utilizando espectrometría gamma.

1.1.10 Impregnación de carbón activado

La impregnación es una técnica que nos permite mejorar las propiedades del carbón activado cambiando su estructura interna y mejorando su capacidad de retención, en la figura 2 utilizando microscopia electrónica de barrido podemos ver los poros de CA sin ningún proceso de impregnación (figura 2 A) y cabe señalar que más del 50% de I^{131} fue atrapado en micro, meso y macro poros vs la estructura interna del CA después de su impregnación (figura 2 B) a una concentración adecuada del 2% podemos observar mayor nivel de absorción y adsorción en los poros llegando a ser esta del 99,65%: (Effect of impregnating materials in activated carbon on Iodine -131 removal efficiency, 2014 pág. p.3)

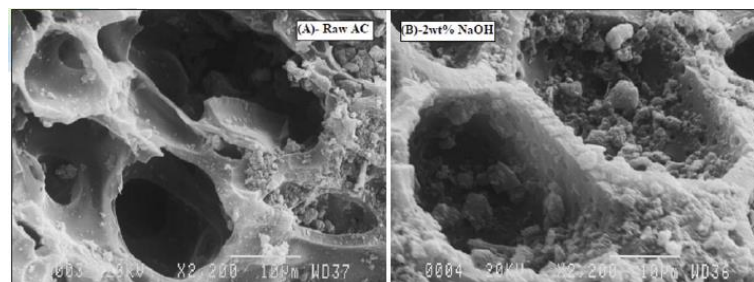


Figura 2-1: Retención de yodo CA con Microscopía electrónica de barrido antes (A) y después de un proceso de impregnación (B)

Fuente: (Effect of impregnating materials in activated carbon on Iodine -131 removal efficiency, 2014).

Las principales sustancias químicas utilizadas en la impregnación de CA son:

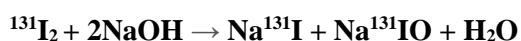
1.1.10.1 Trietilenglicol diamina (TEDA)

Es uno de los catalizadores más utilizados comercialmente para la impregnación de carbón activado, Levinson (2004) realiza un estudio para la determinación de la eficiencia del uso de carbón activado empleando el TEDA, encontrando que una proporción del 5% mejora tanto la eficiencia como el tiempo de retención, diversos parámetros afectan la adsorción de yodo radiactivo sobre el carbón como por ejemplo la presencia de óxido nitroso y óxido sulfuroso que pueden estar contenidos en la materia prima (Calibration of charcoal cassettes for radio Iodine sampling, 2004 pág. p.1); estudios realizados en sistemas de ventilación de plantas nucleares que utilizan carbón activado impregnado con TEDA demuestran que la eficiencia de eliminación es baja, dejando preocupación con respecto a su uso (Comparative tests of the efficiency of sorption-filtering materials for removing radioactive iodine from gaseous emissions, 2004 pág. p.97).

1.1.10.2 Hidróxido de Sodio (NaOH)

Estudios realizados en la impregnación de carbón activado con varias sustancias químicas como KI, ZnCl₂ y NaOH determinan que la mejor sustancia para remover yodo radiactivo es NaOH al 2%, donde NaOH en comparación KI, ZnCl₂ presenta un 46% de aumento de su eficiencia.

El proceso de absorción de yodo se da de la siguiente manera:



Donde el I¹³¹ sumado a dos moléculas de hidróxido de sodio reaccionan formando yoduro de sodio (Na¹³¹I), más yodito de sodio y agua (Na¹³¹IO + H₂O), reacción que permite maximizar el proceso de absorción y sumado a la adsorción inicial debido a la estructura del carbón activado logramos tener una eficiencia de 99.65% de retención de yodo (Effect of impregnating materials in activated carbon on Iodine -131 removal efficiency, 2014 pág. p.3). Lo que nos permite transportar la muestra y cuantificarla utilizando técnicas de espectroscopia gamma en un análisis de laboratorio.

1.2 Monitoreo de yodo radiactivo

1.2.1 Yodo 131

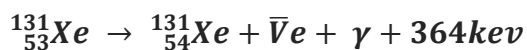
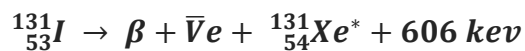
El yodo radiactivo o Yodo¹³¹, símbolo ¹³¹I, también conocido como radioyodo, es un importante radioisótopo del yodo descubierto por Glenn Seaborg y John Livingood en el año 1938 en la Universidad de California, Berkeley (Khan, 2003 pág. p.362).

Tiene un periodo de semidesintegración de 8,02 días. Está asociado con la energía nuclear, con procedimientos de diagnóstico y tratamientos médicos, y producción de gas natural.

Este elemento emite radiación cuyo uso principal es en el área médica mediante terapia de yodo radiactivo posterior a tiroidectomía por cáncer de tiroides, tratamiento del bocio simple y recientemente en el diagnóstico y tratamiento del neuroblastoma. Debido a su modo de desintegración beta, el I¹³¹ es notable por causar mutaciones y la muerte de las células que penetra y otras células hasta con varios milímetros de lejanía; Por esta razón, altas dosis del isótopo algunas veces son menos peligrosas que las dosis bajas, dado que ellas tienden a matar los tejidos de la tiroides que de otra forma se convertirían en cancerosos como un resultado de la radiación.

1.2.2 Decaimiento radiactivo de ¹³¹I

El ¹³¹I se desintegra con una vida media de 8,02 días mediante emisiones beta menos. Al decaer el ¹³¹I, el 100% de su energía beta en 970.8 keV de energía decaen transformándose en ¹³¹Xe (Xenón) estable en dos pasos, inicialmente en ¹³¹Xe metaestable que mediante una desintegración gamma instantánea se convierte en estable. (Brosed, 2011 pág. p.135)



En la figura 3 podemos detallar el esquema completo de decaimiento donde los diferentes niveles de energía que posee el Xe131 metaestable emiten fotones hasta decaer en un estado de energía inferior buscando llegar a un estado fundamental (Nuclear data sheets, 2006 pág. p.1).

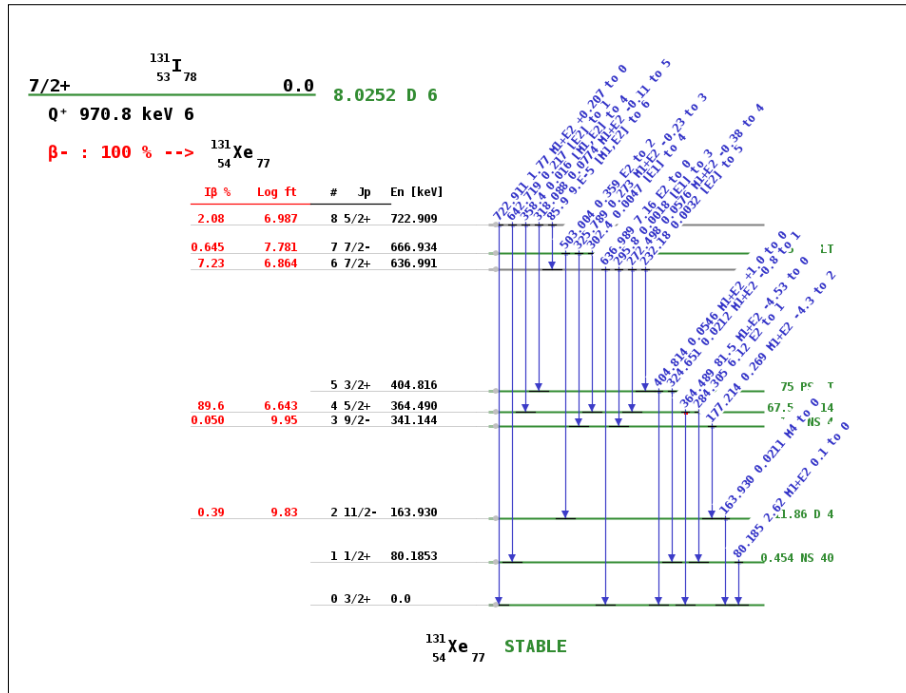


Figura 3-1: Esquema completo de decaimiento radiactivo del ^{131}I tomando en cuenta estados metaestables.

Fuente: (Nuclear data sheets, 2006)

1.2.3 Niveles gama de energía

Una vez que el ^{131}I decae 100% en energía beta, inmediatamente el ^{131}Xe metaestable emite energía gamma en valores característicos los cuales podemos verlos en la tabla 1, cada valor de energía emitido le corresponde un nivel de porcentaje de energía (intensidad gamma), energía gamma que puede ser cuantificada y a su vez es considerada como propia del ^{131}I ya que se da de manera simultanea (Nuclear data sheets, 2006 pág. p.1).

Tabla1-1: Tabla Intensidad gamma de ^{131}I

Elemento	Intensidad Gama %	Energía (kev)
^{131}I	6.14	284.2
^{131}I	81.7	364.24
^{131}I	7.17	636.6
^{131}I	89	140.4
^{131}I	2.62	80.185
^{131}I	1.77	722.911
^{131}I	0.359	503.004

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

Fuente: (Nuclear data sheets, 2006)

1.2.4 Monitoreo del aire para detección de yodo radiactivo en medicina nuclear

Entre los distintos tipos de terapia con radionúclidos de fuentes abiertas, más del 90% se realizan utilizando ^{131}I (Air Monitoring to Control the Intake of Airborne Radioiodine-131 Contaminants by Nuclear Medicine Workers, 2010 pág. p.85). El ^{131}I se usa ampliamente en terapias y procedimientos en medicina nuclear debido a su corta vida media y la utilidad de su emisión beta. Sin embargo, ^{131}I es altamente volátil y se clasifica como un radionúclido en el grupo de alta toxicidad (A basic toxicity classification of radionuclides, 1963 pág. p.16). ^{131}I puede ser inhalado como gas o ingerido en alimentos o agua. La cuantificación de la contaminación ^{131}I en el aire asociado con el uso clínico de Na^{131}I en forma líquida ha sido reportado y estudiado ampliamente en la literatura (IAEA Safety Standards Series No. IAEA Safety Standards Series No. Radionuclides, 1999 pág. p.24).

La concentración de ^{131}I en el aire está limitada por la Concentración Área Derivada (DAC) de 416,67 Bq / m³ (Air Monitoring to Control the Intake of Airborne Radioiodine-131 Contaminants by Nuclear Medicine Workers, 2010 pág. p.1), es decir es el límite máximo permitido en un área específica donde tenemos aplicaciones con radionúclidos.

La inhalación de partículas radiactivas en el aire es una de las vías más importantes de entrada de radionúclidos en el cuerpo humano. Uno de los principales requisitos para la manipulación de radiación es la protección radiológica; en medicina nuclear es el monitoreo en el lugar de trabajo donde el oficial de protección radiológica lo realiza diariamente utilizando contadores de radiación como son los geiger muller capaces de medir la radiación en superficie siendo importante tomar en cuenta que el ^{131}I es un gas que se encuentra en el aire.

Por lo tanto, el monitoreo ambiental (en aire) se realiza para identificar materiales radioactivos aerosoles y controlar la ingesta de los mismos por los trabajadores (Air Monitoring to Control the Intake of Airborne Radioiodine-131 Contaminants by Nuclear Medicine Workers, 2010 pág. p.2).

1.2.5 Procedimiento para el monitoreo de yodo radiactivo

Se pueden ejecutar mediciones tanto directas como indirectas para realizar un monitoreo de ^{131}I ; directas donde la dosis está dada por el valor medido en un órgano específico en el cual se acumula la dosis, en este caso específico de ^{131}I se calcula en la tiroides, mientras que las medidas indirectas se realizan evaluando la concentración de ^{131}I en aire y se toman en cuenta valores establecidos de inhalación y horas trabajo para determinar el valor real de dosis que debe estar dentro de los límites DAC antes mencionados; procesos para el cálculo del DAC pueden llegar a ser complejos

ya que toman en cuenta valores de ingestión, secreción y biocinética de asimilación establecidos por la IAEA. (Agency, 1999 pág. p.31).

Siendo recomendado realizar una medición indirecta que si bien ejecuta algunas estimaciones se facilita su realización; en el caso del ^{131}I se recomienda el monitoreo en el ambiente tomando en cuenta la geometría vertical o escaneado estático a una altura cercana a la inhalación de oxígeno, así también se recomienda el cálculo de actividad utilizando espectrometría gama. (ICRP, 1997 pág. p.69) donde el yodo almacenado en los filtros de carbón activado es leído en laboratorio siendo necesario realizar una calibración en eficiencia para tener el valor real de actividad medido

2.3 Descripción del Hospital Carlos Andrade Marín (HCAM)

El Hospital Carlos Andrade Marín (HCAM), está ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito, capital de la República del Ecuador, en la calle 18 de septiembre N° 3220, entre las calles Portoviejo y Ayacucho y la Av. Universitaria, en la Parroquia Santa Prisca, en la antigua Quinta denominada Miraflores, la misma que en el año 1956 fue adquirida por la administración del hospital, actualmente la infraestructura construida del hospital es de 50.000 m², en una extensión de 42.829 m² de terreno.

1.3.1 Descripción del área de Medicina Nuclear del HCAM

El HCAM cuenta con área de medicina nuclear, la cual se divide en dos áreas importantes: radio farmacia y tratamiento de cáncer utilizando ^{131}I ; en el área tratamiento de cáncer se encuentra dos gamas cámaras un cuarto de inyección, un cuarto de fraccionamiento, 2 oficinas y una sala de espera donde laboran 8 personas en horario matutino y 2 en horario vespertino; el tratamiento con ^{131}I se suministra los días martes y viernes días en los que se realiza el fraccionamiento de Yodo y adicionalmente los pacientes permanecen en el hospital 2 días para un correcto control del tratamiento (Social, 2016 pág. p.1)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Características de equipos experimentales

El presente trabajo de investigación cuenta con 2 técnicas nucleares para la cuantificación de ^{131}I atrapado en los filtros de carbón activado.

2.1.1 *iCam Alfa/Beta Air Monitor*

El equipo iCam Alfa/Beta Air Monitor provee mediciones ambientales de la actividad de partículas alfa y beta, actúa como un medidor de alarma en tiempo real, de tal manera que detecta partículas alfa y beta agregando a un sistema de discriminación de background que identifica y descuenta valores del fondo radiactivo. (Camberra, 2010 pág. p.1)

2.1.1.1 *Funcionamiento del equipo*

El equipo aspira el aire del ambiente mediante una bomba de vacío en donde un filtro detecta las partículas presentes en el ambiente, tanto alfa y beta teniendo alta sensibilidad para partículas beta de baja energía, el sistema incluye un registro de:

- ✚ Actividad que se actualiza cada 5 minutos en función normal
- ✚ Alarmas
- ✚ Cambios de filtro
- ✚ Fecha y hora en cada medición.

El aire es aspirado en el instrumento a un ritmo preestablecido, dentro de un rango de 15-60 $\frac{l}{min}$ y con un valor promedio de 37 $\frac{l}{min}$, el aire ingresa y pasa a través de un filtro de fibra de vidrio el cual dependiendo del tipo de monitoreo que se va realizar; ver figura 9; lugar donde se quedan suspendidas las partículas que se encuentran en el aire. (Camberra, 2010 pág. p.3)



Figura 1-2 Filtros del equipo iCam Alfa/Beta Air Monitor

Fuente: (Camberra, 2010).

2.1.1.2 *Detector*

El equipo es capaz de detectar partículas alfa y beta al mismo tiempo, El rango de medición del instrumento se extiende a más de 500 kBq (13,5 Ci) de alfa combinado y la actividad beta depositadas en el filtro. La actividad de fondo se proporciona la medición de verificación y la función de visualización, que se puede acceder a través de los controles del panel frontal. Este control también puede ser usado para identificar la presencia de contaminación dentro del monitor o a evaluar los valores de fondo gamma ambiente. (Williams, 2006 pág. p.20)

El equipo dispone de las siguientes características:

- ✚ Comandos de comprobación del correcto funcionamiento del equipo.
- ✚ Informes rápidos en tiempo real de la radiación recibida, así como también informes con valores promedio de largos tiempos de toma de datos.
- ✚ Alarmas configurables que nos alertan del funcionamiento.
- ✚ Autonomía de funcionamiento de 30 minutos.
- ✚ Conexión a Pc para visualización de datos, realización de gráficas.



Figura 2-2 Equipo iCam alpha beta air monitor
Fuente: (Camberra, 2010)

2.1.2 Espectrómetro gamma de germanio hiper puro

El trabajo experimental se realiza en la SCAN en el laboratorio de vigilancia ambiental que cuenta con un espectrómetro gamma GCD-40180X, (mas - DU) enfriado con nitrógeno líquido y su

función es la detección de rayos gamma; es utilizado para la vigilancia radiológica de objetos ambientales, provenientes de energía nuclear, productos de la industria, agricultura, medicina, entre otros. (System, 2015 pág. p.26)

El espectrómetro gamma GCD-40180X es un detector semiconductor de germanio hiper puro (HPGe) cuyas aplicaciones están revolucionando completamente esta técnica debido a su elevado poder de resolución.

2.1.2.1 Partes estructurales

El espectrómetro gamma GCD-40180X está diseñado para funcionar en condiciones de laboratorio, consta de bajo brackground protegido con blindaje de plomo, además también posee:

1. Unidad de detección de rayos gamma basado en coaxiales tipo-p, detector de germanio hiper puro con contacto frontal delgado y preamplificador (SCD)
2. Un criostato vertical (LN2 para enfriar el detector)
3. Recipiente Dewar 30 l
4. Blindaje de plomo con mesa de apoyo.
5. Monitor con sensor para verificar el nivel de nitrógeno líquido.
6. Dispositivo de espectrometría digital MCA-527
7. Set de cables y conectores relacionados.
8. Software SpectraLine Gamma Precision (GP).
9. Software Nuclide Master Plus.
10. Laptop e impresora láser
11. Almacenamiento de LN2 y sistema de llenado TP-35

2.1.2.2 Características técnicas

Los intervalos reales de los parámetros principales del equipo se enumeran a continuación:

Tabla 1-2.- Parámetros de funcionamiento del Espectrómetro Gamma de Germanio híper puro.

No	NOMBRE DE LOS PARÁMETROS	Valor total del sistema	Valor actual
1	Rango de energía de radiación gamma en keV	5-10000	5-10000
2	Resolución energía para las energías, no más de: 122 keV 1332keV “Resolución total del sistema para una fuente con 1000 cuentas/s se mide de acuerdo con la norma ANSI/IEEE Std, 325-1996 , mediante el analizador multicanal MCA- 527, GBS Ltd”	<875 <1800	814 1774
3	La eficiencia relativa de energía de 1.33 MeV a (NaI) TI, % (Fuente de Co- 60 montado 25 cm por encima del detector) Pico / índice Compton, no menos que Parámetros de pico FW.1M / FWHM , no más de FW.02M / FWHM , no más de	40 63:1 1.90 2.65	41.2 64:1 1.87 2.50
4	Voltaje de funcionamiento óptimo de SCD (HV) , V, positivo	1000-4000	2500
5	Factor de conversión , no menos que , mV/MeV	220	225
6	Señal de polaridad de salida	Negativo	
7	Señal del tiempo (μs) al aumentar la tensión, no más de	0.15	0.15
8	Señal del tiempo (μs) al disminuir la tensión, no más de	50	65

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

Fuente: (Quittner, 1972)

2.1.2.3 Diseño de la unidad detectora (DU)

La unidad detectora está basada en un detector de germanio híper puro con refrigeración a base de nitrógeno líquido, la cual está comprendido por: un criostato, preamplificador, recipiente Dewar 40 l y el sensor de nivel de nitrógeno líquido (El sumario de DU y el blindaje de plomo se muestra en la Figura 7).

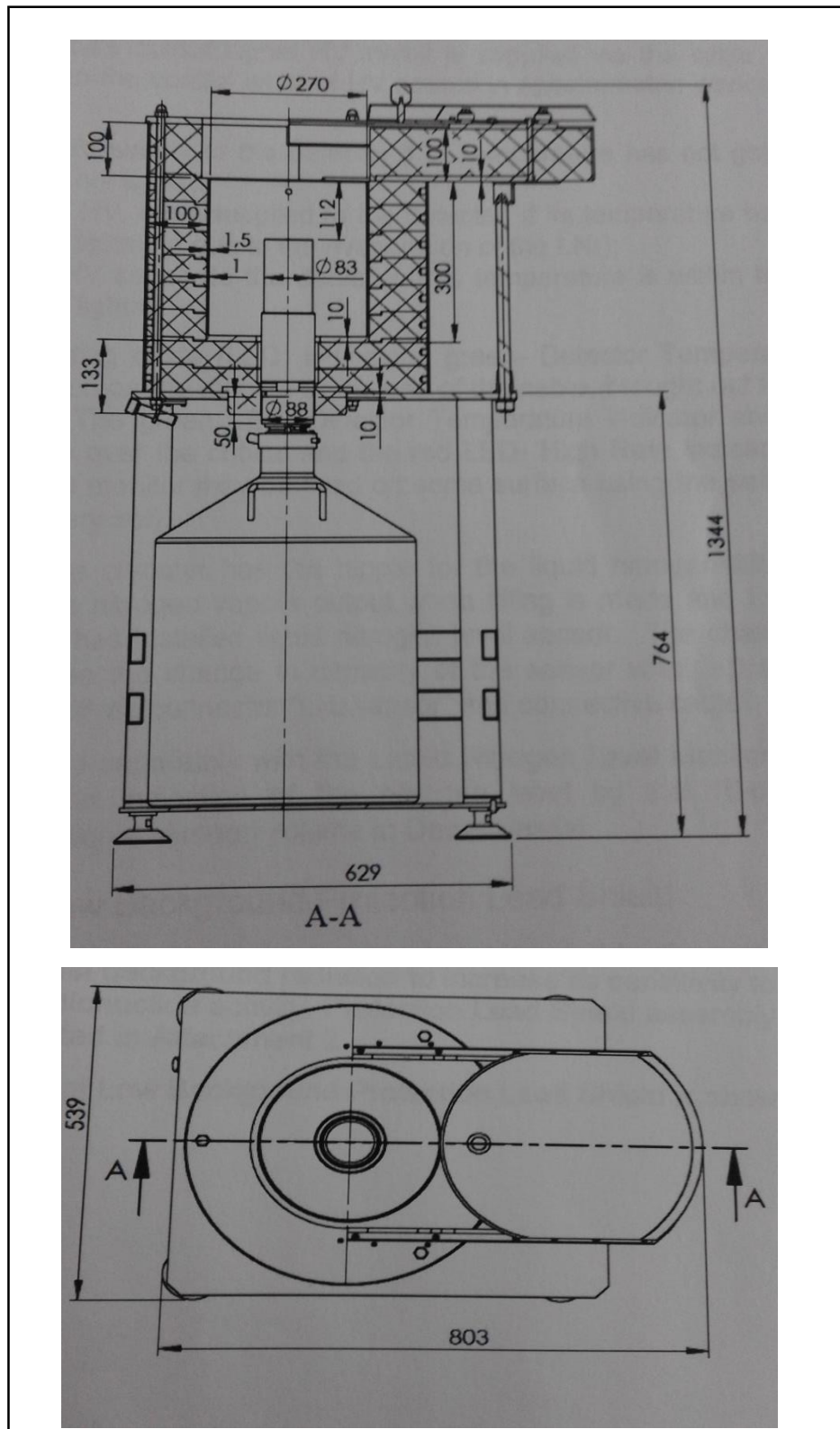


Figura 3-2 Visión general del DU y el blindaje de plomo

Fuente: (System, 2015)

- ✚ El detector y el armazón de entrada del preamplificador se colocan en la cámara de vacío del criostato y se enfrían hasta una temperatura de $-197,68^{\circ}\text{C}$, temperatura del nitrógeno líquido. La parte no fría del preamplificador (PA) está fuera del volumen del vacío en una

sección separada y se cierra herméticamente con la tapa. Hay 4 cables, conducidos desde esta sección, para conectar el DU al equipo de espectrometría. El criostato está sujeto con 3 tornillos en el tapón, que contiene los elementos traseros de plomo del bajo blindaje de protección de fondo, y se coloca en el cuello del recipiente Dewar.

- ✚ El detector contiene un criostato que detecta elemento unido a la trayectoria de enfriamiento. El elemento sensor se conecta a un circuito de monitorización que se incorpora en la electrónica del preamplificador PA.

- ✚ La señal HV de salida de inhibición del circuito de control, se suministra a través del cable de alimentación DC ± 12 V contactos D9-5 a la entrada de control de HV de la fuente del dispositivo de espectrometría y actúa de la siguiente manera:
 - 0V- Prohibir HV el suministro al detector si la temperatura aún no tiene el nivel requerido (LED verde no encendido).
 - 0V- Apagar HV, antes de suministrar el detector, si la temperatura ha superado el nivel aceptable (por ejemplo debido a la evaporación del LN2).
 - + 5V- Permitir el suministro HV al detector si la temperatura está dentro del rango aceptable (LED verde se ilumina).

- ✚ Dos diodos indicadores que emiten luz (LED): verde – Detector de temperatura y rojo - alta velocidad que se instala en el monitor en el extremo del cable, llevado hacia fuera del conector de alimentación DC ± 12 V. El LED verde - Detector de temperatura indica el exceso de temperatura del detector por encima de lo establecido y el LED rojo - alta tasa de entrada de conteo. El monitor LED puede colocarse de manera fija en cierta superficie usando el clip autoadhesivo (incluido en el sistema de entrega). (BSI, 2014)

- ✚ El enchufe del criostato tiene un mango de unión para rellenar el nitrógeno líquido. La boquilla de salida, se utiliza para los vapores de nitrógeno de salida cuando se realiza el llenado y para los procesos de operación. El enchufe tiene instalado el sensor de nivel de nitrógeno líquido. El cambio del nivel de nitrógeno líquido, proporciona el cambio en la capacidad del sensor, que es transferido al monitor de nitrógeno líquido mediante el conector "sensor LN2" y el cable conectivo.

- ✚ El DU se completa por separado con el monitor de nivel de nitrógeno líquido, el cual proporciona la medición y la indicación del nivel de nitrógeno por el indicador 16-apuntador, calibrado en % del volumen de nitrógeno líquido en el recipiente Dewar.

2.1.2.4. Diseño del blindaje de plomo para la protección de bajo fondo

El blindaje de plomo para la protección de bajo fondo, está previsto para la protección de la unidad de detección contra radiación de fondo, aumentando así su sensibilidad al nivel mínimo de la actividad del radionúclido medido.

El diseño del blindaje de plomo para la protección de bajo fondo se muestra en la Fig.4-2 y Fig.5-2.

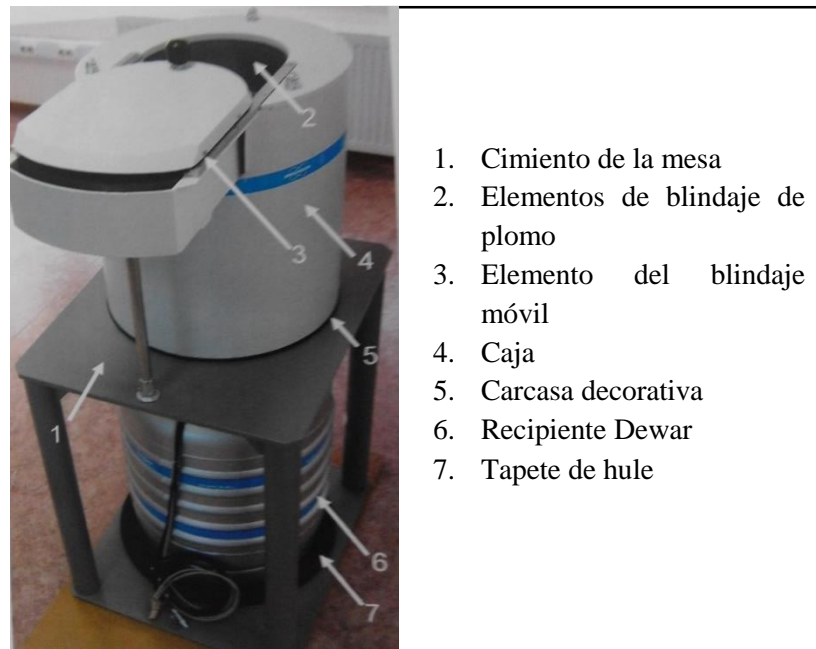


Figura 4-2 Espectrómetro gama de germanio hiper puro- descripción de sus partes principales externas.

Fuente: (System, 2015)

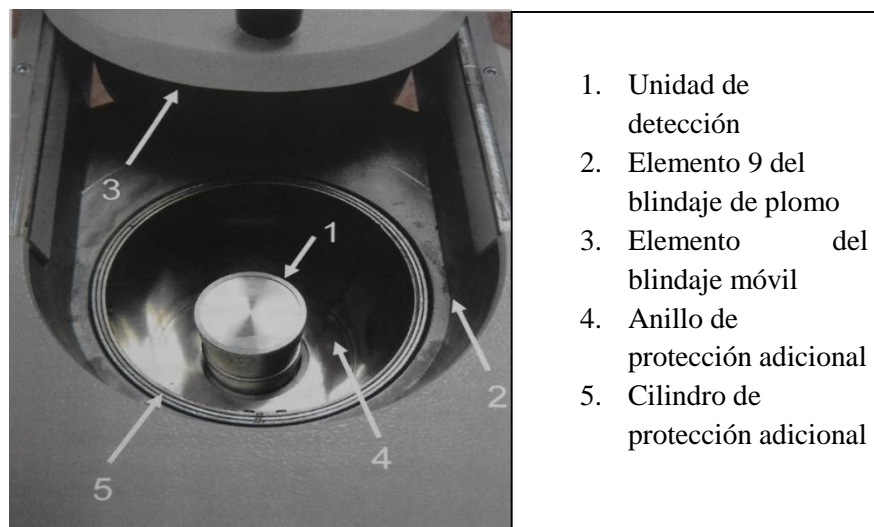


Figura 5-2 Espectrómetro gama de germanio hiper puro- descripción de sus partes principales internas.

Fuente: (System, 2015).

3.2 Variables dependientes e independientes

Tabla 2-2: -Variables dependientes e independientes

Variable Independiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Índice
Filtros de carbón activado.	Dispositivo elaborado a base de carbón activado que adsorbe partículas de Yodo.	Cantidad de carbón activado Geometría del filtro Flujo de aire en el filtro	Masa de carbón activado Área Variación volumétrica por unidad de tiempo	gr cm ² Metros cúbicos/hora
Variable Dependiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Índice
Concentración de yodo 131 en los filtros de carbón activado	Yodo adsorbido por el recolector de carbón activado	Radiactividad del Yodo adsorbido	Actividad de yodo 131 por unidad de volumen	Bq/m ³

Fuente: Pedro Cadena, 2016

2.3 Tipos y caracterización de pruebas experimentales

2.3.1 *Fabricación de filtros carbón activado.*

2.3.1.1 *Pruebas de materiales*

Para la fabricación de filtros de carbón activado se utilizaron los siguientes materiales:

- ✚ 3 Capas de cartulina gruesa para la estructura del filtro.
- ✚ Base de filtro de café para el área detectable.
- ✚ Carbón activado para la detección de ^{131}I .
- ✚ Malla estándar para depilar porosa.

Los materiales mencionados cumplen con la geometría de los filtros iCam alfa beta
Materiales que cumplan con la geometría de los filtros iCam alfa beta (ver figura 9), los cuales cumplen las siguientes características:

- ✚ Geometría rectangular de 8,7x5,1cm
- ✚ Espesor de filtro de 1mm
- ✚ Área detectable circular de diámetro 2,4 cm

De tal manera que los materiales para poder cumplir con la geometría mencionadas son:

2.3.1.2 *Impregnación y reactivación de carbón activado*

El carbón activado elegido para realizar este experimento es carbón activado grueso, el cual siguiendo lo analizado en el marco teórico fue molido utilizando un mortero y un pistilo; posteriormente tamizado para tener un tamaño de partícula homogéneo.

2.3.1.3 *Impregnación de NaOH*

- ✚ Luego de revisar los diferentes métodos de impregnación en la bibliografía; se decidió la realización de una impregnación con NaOH ya que posee un 99,65% de eficiencia de absorción vs otros métodos a los cuales les lleva un 46% de ventaja en eficiencia.
- ✚ Se preparó una muestra de 0,5 litros de agua ultra pura con una concentración del 2% de NaOH teniendo una concentración adecuada para no saturar los filtros.

- ✚ El carbón activado fue expuesto durante 15 minutos a la solución de NaOH y posteriormente mediante un proceso de filtración al vacío el exceso solución fue eliminado; Ver anexo 1.
- ✚ El CA mediante un proceso de reactivación fue llevado a una estufa durante 6 horas a una temperatura de 60°C.
- ✚ Los filtros fueron armados siguiendo la geometría antes establecida y utilizando 0,4 gramos de carbón reactivado impregnado con NaOH.
- ✚ Los filtros fueron almacenados en un desecador con silica gel para conservar sus propiedades y evitar la adsorción de humedad.

En la figura 9 podemos ver los filtros fabricados a base de carbón activado los cuales cumplen con las características mencionadas de tal manera que el equipo iCam alfa beta monitoring los toma como propios y nos permite realizar un correcto monitoreo en campo.

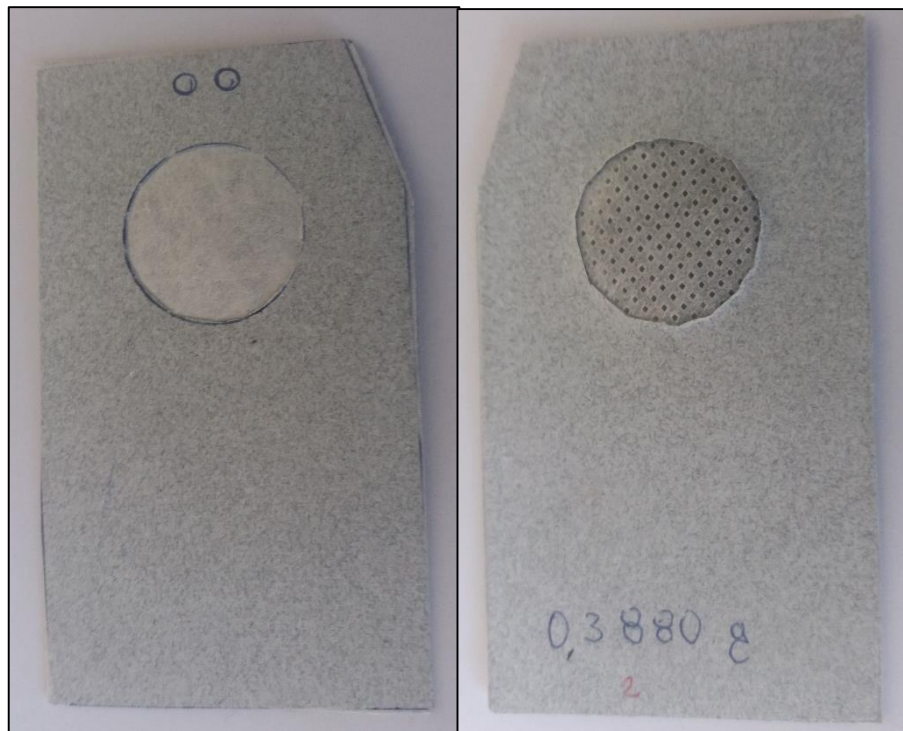


Figura 6-2: Filtro fabricados a base de carbón activado, izquierda: vista frontal
derecha: vista posterior

Fuente: Pedro Cadena

2.3.2 Calibración de los filtros mediante un método de transferencia

Para poder cuantificar el valor de ^{131}I utilizamos espectrometría gamma de germanio híper puro la cual posee una calibración mediante un estándar multinucleidos; el cual fue proporcionado por el instituto checo de metrología y posee valores certificados en todo el rango de energía que posee el detector.

Para poder realizar la medición en nuestros filtros es necesario realizar una transferencia de calibración de la siguiente manera:

- ✚ Cuantificación de ^{131}I donado por el departamento de medicina nuclear del HCAM en cantidades mínimas detectables establecidas en el marco teórico.
- ✚ Preparación de 5 filtros estándar los cuales fueron inyectados 0,1 ml con una cantidad previamente conocida de ^{131}I .
- ✚ Medición de 5 filtros estándar usando el espectrómetro gamma de germanio híper puro con una duración de lectura de 1 hora.
- ✚ Análisis de los diferentes espectros de filtros estándar usando el software spectra line gamma precisión y determinación del número de cuentas por segundo (cps).
- ✚ Determinación del comportamiento de la eficiencia mediante la gráfica energía vs eficiencia la cual determina el comportamiento de la eficiencia para otros valores de energía mediante una ecuación representativa de la curva.

2.3.3 Monitoreo de Yodo radiactivo

Las pruebas en campo son necesarias para poder probar la validez de los filtros; los filtros fabricados son utilizados en el departamento de medicina nuclear del HCAM, siguiendo el siguiente procedimiento:

- ✚ Selección de los lugares a ser monitoreados utilizando los registros de contaminación en contacto proporcionados por el físico encargado; además de los lugares de mayor permanencia del Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y pacientes; así como tiempos con y sin manipulación de ^{131}I ; Ver anexo II.
- ✚ Monitoreo en las diferentes áreas establecidas utilizando el equipo iCam alfa beta con los filtros de carbón activado fabricados, con un tiempo de duración de 1 hora debido a las características del equipo y a la geometría del detector.
- ✚ Transporte de la muestra al laboratorio en un rango de duración de 30 a 45 min.
- ✚ Medición en espectrómetro gamma de germanio híper puro con una hora de duración.

2.4 Recolección, organización y procesamiento de datos

Después de analizar los filtros estándar y filtros de medición en campo presentamos los siguientes resultados de los valores representativos de cada medición; los filtros estándar tienen como conclusión final el valor de eficiencia para cada valor de intensidad gamma; mientras que los filtros de medición en campo tienen como resultado final el valor de actividad.

2.4.1 Resultados de filtros estándar

Tabla 3-2: Resultados de filtros de calibración – filtro A, el valor más alto de intensidad se encuentra resaltado en color azul.

Fecha	Identificación del filtro	Tiempo vivo del espectrómetro	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Cuentas/segundo (CPS)	Diferencia de peso (Peso de los filtros g)	Actividad madre (Bq/g)	Actividad Inyectada (Bq)	Intensidad Gamma	Intensidad Gamma (%)	Eficiencia de los filtros	Energía del Yodo 131
26/10/2016	A	7681,98	309	0,040	0,075	318,2	23,865	0,026	2,62	0,064	80,185
26/10/2016	A	7681,98	42	0,005	0,075	318,2	23,865	0,003	0,27	0,085	177,221
26/10/2016	A	7681,98	731	0,095	0,075	318,2	23,865	0,061	6,14	0,065	284,2
26/10/2016	A	7681,98	29	0,004	0,075	318,2	23,865	0,003	0,274	0,058	325,6
26/10/2016	A	7681,98	8001	1,042	0,075	318,2	23,865	0,817	81,7	0,053	364,24
26/10/2016	A	7681,98	28	0,004	0,075	318,2	23,865	0,004	0,36	0,042	503
26/10/2016	A	7681,98	452	0,059	0,075	318,2	23,865	0,072	7,17	0,034	636,6
26/10/2016	A	7681,98	14	0,002	0,075	318,2	23,865	0,002	0,217	0,035	642,3
26/10/2016	A	7681,98	101	0,013	0,075	318,2	23,865	0,004	1,77	0,153	722,88

Fuente Pedro Cadena, 2016.

Tabla 4-2: Resultado de filtros de calibración- filtro B el valor más alto de intensidad se encuentra resaltado en color azul

Fecha	Identificación del filtro	Tiempo vivo del espectrómetro	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Cuestas/segundo (CPS)	Diferencia de peso (Peso de los filtros g)	Actividad madre (Bq/g)	Actividad Inyectada (Bq)	Intensidad Gamma	Intensidad Gamma (%)	Eficiencia de los filtros	Energía del Yodo 131
25/10/2016	B	55352	3435	0,062	0,07	328,533	22,99731	0,0262	2,62	0,103	80,185
25/10/2016	B	55352	396	0,007	0,07	328,533	22,99731	0,0027	0,27	0,115	177,221
25/10/2016	B	55352	5932	0,107	0,07	328,533	22,99731	0,0614	6,14	0,076	284,2
25/10/2016	B	55352	261	0,005	0,07	328,533	22,99731	0,00274	0,274	0,075	325,6
25/10/2016	B	55352	70229	1,269	0,07	328,533	22,99731	0,817	81,7	0,068	364,24
25/10/2016	B	55352	263	0,005	0,07	328,533	22,99731	0,0036	0,36	0,057	503
25/10/2016	B	55352	3909	0,071	0,07	328,533	22,99731	0,0717	7,17	0,043	636,6
25/10/2016	B	55352	129	0,002	0,07	328,533	22,99731	0,00217	0,217	0,047	642,3
25/10/2016	B	55352	951	0,017	0,07	328,533	22,99731	0,00359	1,77	0,208	722,88

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Tabla 5-2: Resultado de filtros de calibración – filtro C el valor más alto de intensidad se encuentra resaltado en color azul

Fecha	Identificación del filtro	Tiempo vivo del espectrómetro	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Cuestas/segundo (CPS)	Diferencia de peso (Peso de los filtros g)	Actividad madre (Bq/g)	Actividad Inyectada (Bq)	Intensidad Gamma	Intensidad Gamma (%)	Eficiencia de los filtros	Energía del Yodo 131
27/10/2016	C	20404,05	1169	0,057	0,072	295,166	21,251952	0,0262	2,62	0,103	80,185
27/10/2016	C	20404,05	148	0,007	0,072	295,166	21,251952	0,0027	0,27	0,126	177,221
27/10/2016	C	20404,05	2354	0,115	0,072	295,166	21,251952	0,0614	6,14	0,088	284,2
27/10/2016	C	20404,05	95	0,005	0,072	295,166	21,251952	0,00274	0,274	0,080	325,6
27/10/2016	C	20404,05	28097	1,377	0,072	295,166	21,251952	0,817	81,7	0,079	364,24
27/10/2016	C	20404,05	98	0,005	0,072	295,166	21,251952	0,0036	0,36	0,063	503
27/10/2016	C	20404,05	1584	0,078	0,072	295,166	21,251952	0,0717	7,17	0,051	636,6
27/10/2016	C	20404,05	49	0,002	0,072	295,166	21,251952	0,00217	0,217	0,052	642,3
27/10/2016	C	20404,05	358	0,018	0,072	295,166	21,251952	0,00359	1,77	0,230	722,88

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Tabla 6-2: Resultado de filtros de calibración- filtro D el valor más alto de intensidad se encuentra resaltado en color azul

Fecha	Identificación del filtro	Tiempo vivo del espectrómetro	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Cuentas/segundo (CPS)	Diferencia de peso (Peso de los filtros g)	Actividad madre (Bq/g)	Actividad Inyectada (Bq)	Intensidad Gamma	Intensidad Gamma (%)	Eficiencia de los filtros	Energía del Yodo 131
26/10/2016	D	24038,35	1974	0,082	0,086	320,683	27,578738	0,0262	2,62	0,114	80,185
26/10/2016	D	24038,35	238	0,010	0,086	320,683	27,578738	0,0027	0,27	0,133	177,221
26/10/2016	D	24038,35	3578	0,149	0,086	320,683	27,578738	0,0614	6,14	0,088	284,2
26/10/2016	D	24038,35	154	0,006	0,086	320,683	27,578738	0,00274	0,274	0,085	325,6
26/10/2016	D	24038,35	44783	1,863	0,086	320,683	27,578738	0,817	81,7	0,083	364,24
26/10/2016	D	24038,35	158	0,007	0,086	320,683	27,578738	0,0036	0,36	0,066	503
26/10/2016	D	24038,35	2500	0,104	0,086	320,683	27,578738	0,0717	7,17	0,053	636,6
26/10/2016	D	24038,35	78	0,003	0,086	320,683	27,578738	0,00217	0,217	0,054	642,3
26/10/2016	D	24038,35	576	0,024	0,086	320,683	27,578738	0,00359	1,77	0,242	722,88

Fuente: Pedro Cadena,2016.

Tabla 7-2: Resultado de filtros de calibración- Filtro E el valor más alto de intensidad se encuentra resaltado en color azul

Fecha	Identificación del filtro	Tiempo vivo del espectrómetro	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Cuestas/segundo (CPS)	Diferencia de peso (Peso de los filtros g)	Actividad madre (Bq/g)	Actividad Inyectada (Bq)	Intensidad Gamma	Intensidad Gamma (%)	Eficiencia de los filtros	Energía del Yodo 131
27/10/2016	E	8519,55	503	0,059	0,088	292,375	25,729	0,0262	2,62	0,088	80,185
27/10/2016	E	8519,55	67	0,008	0,088	292,375	25,729	0,0027	0,27	0,113	177,221
27/10/2016	E	8519,55	1100	0,129	0,088	292,375	25,729	0,0614	6,14	0,082	284,2
27/10/2016	E	8519,55	43	0,005	0,088	292,375	25,729	0,00274	0,274	0,072	325,6
27/10/2016	E	8519,55	12940	1,519	0,088	292,375	25,729	0,817	81,7	0,072	364,24
27/10/2016	E	8519,55	44	0,005	0,088	292,375	25,729	0,0036	0,36	0,056	503
27/10/2016	E	8519,55	721	0,085	0,088	292,375	25,729	0,0717	7,17	0,046	636,6
27/10/2016	E	8519,55	22	0,003	0,088	292,375	25,729	0,00217	0,217	0,046	642,3
27/10/2016	E	8519,55	163	0,019	0,088	292,375	25,729	0,00359	1,77	0,207	722,88

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

A continuación, se presenta los promedios de eficiencia encontrados a base de los filtros estándar; los cuales corresponden a los diferentes picos de energía representativos del ¹³¹I.

Tabla 8-2: Promedios de eficiencia representativos de filtro (El valor más alto de intensidad se encuentra resaltado en color azul).

Intensidad Gamma (%)	Energía	Promedio Eficiencias	Desviacion estandar
2,62	80,185	0,094	0,019
0,27	177,221	0,115	0,018
6,14	284,2	0,080	0,010
0,274	325,6	0,074	0,010
81,7	364,24	0,071	0,011
0,36	503	0,057	0,009
7,17	636,6	0,045	0,007
0,217	642,3	0,047	0,007
1,77	722,88	0,208	0,034

Fuente: Pedro Cadena, 2016

2.4.2 Resultados de filtros de carbón activado en mediciones en campo

Los lugares seleccionados para el monitoreo de yodo radiactivo son:

- ✚ Sala de fraccionamiento (Cuarto caliente); en fraccionamiento y sin funcionamiento.
- ✚ Sala de recuperación (cuarto pacientes).
- ✚ Sala de espera, con y sin pacientes.
- ✚ Bodega de decaimiento.
- ✚ Sala de gamma cámaras.
- ✚ Oficina del físico médico.

Tabla 9-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto caliente en fraccionamiento

Filtro HCAM 1 Cuarto Caliente en fraccionamiento I 131 09/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gamma %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,0798	791	4521,27	0,17495084	35,72	921	38,78
	0,817	81,7	364,24	0,0710	9842	4521,27	2,176822	37,51	921	40,72
	0,0717	7,17	636,6	0,0453	518	4521,27	0,11456958	35,25	921	38,28
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,1120	5271	4521,27	1,16582288	11,70	921	12,70
Promedio I 131										39,26

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

El muestreo se llevó a cabo utilizando el filtro HCAM 1 en el cuarto caliente con una duración de 30 minutos; en la cual se realizaba el fraccionamiento de ^{131}I para el tratamiento de cáncer de tiroides de 4 pacientes; en la sala se encontraban 3 personas y el fraccionamiento tuvo una duración de 9 minutos 20 segundos y un valor de betas totales de $4,86 \frac{\text{Bq} \cdot \text{h}}{\text{m}^3}$.

Tabla 10-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto pacientes (2)

Filtro HCAM 2 Cuarto Pacientes (2 Pacientes) 14/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,07977655	187	6639,69	0,02816397	5,75	1794	3,20
	0,817	81,7	364,24	0,07103861	2188	6639,69	0,32953346	5,68	1794	3,16
	0,0717	7,17	636,6	0,04532641	120	6639,69	0,01807313	5,56	1794	3,10
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,112	0	6639,69	0	0,00	1794	0,00
PROMEDIO I 131										3,16

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

El monitoreo tuvo una duración de 1 hora y se llevó acabo en el cuarto de los pacientes (2 pacientes), el tiempo de transporte fue de 1h 30 min; el valor de betas totales es de 2,47Bqh/m3.

Tabla 11-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto pacientes 1. (1)

Filtro HCAM 3 Cuarto Pacientes (1 Paciente) 14/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,0798	0	3838,9	0	0,00	1803	0,00
	0,817	81,7	364,24	0,0710	174	3838,9	0,04532548	0,78	1803	0,43
	0,0717	7,17	636,6	0,0453	0	3838,9	0	0,00	1803	0,00
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,1120	0	3838,9	0	0,00	1803	0,00
PROMEDIO I 131										0,43

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

El tiempo de medición en campo y en el detector fue de 1 hora, el valor de betas totales es de 3,28 Bq/m³

Tabla 12-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto pacientes 2 (1).

Filtro HCAM 4 Cuarto Pacientes (1 paciente) 15/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,0798	184	4737,5	0,03883905	7,93	2018,25	3,93
	0,817	81,7	364,24	0,0710	2217	4737,5	0,46796834	8,06	2018,25	4,00
	0,0717	7,17	636,6	0,0453	120	4737,5	0,02532982	7,79	2018,25	3,86
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,1120	0	4737,5	0	0,00	2018,25	0,00
PROMEDIO I 131										3,93

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Utilizando el filtro HCAM 4 se realizó un monitoreo en los cuartos de los pacientes (1 pacientes), con un tiempo de medición en campo de 1 hora, tiempo transporte de 43 minutos, el valor de betas totales es de 2,29 Bq/m³

Tabla 13-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-sala de espera

Filtro HCAM 5 Sala de espera 15/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,0798	0	5359,44	0	0,00	1542	0,00
	0,817	81,7	364,24	0,0710	200	5359,44	0,03731733	0,64	1542	0,42
	0,0717	7,17	636,6	0,0453	0	5359,44	0	0,00	1542	0,00
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,1120	0	5359,44	0	0,00	1542	0,00
I 131										0,42

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Utilizando el filtro medición HCAM 5 se realizó un monitoreo en la sala de espera donde en ese momento no se encontraba ningún paciente (capacidad máxima 25 personas) con un tiempo de medición de filtro en campo 1 hora, tiempo transporte 45 minutos.

Tabla 14-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Bodega de decaimiento

Filtro HCAM 6 (Bodega de decaimiento) 16/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,0798	0	3934,91	0	0,00	1595	0,00
	0,817	81,7	364,24	0,0710	300	3934,91	0,07624063	1,31	1595	0,82
	0,0717	7,17	636,6	0,0453	0	3934,91	0	0,00	1595	0,00
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,1120	0	3934,91	0	0,00	1595	0,00
I 131										0,82

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

El equipo descansa en la gama cámara el día anterior utilizando el filtro HCAM 6 se realiza el monitoreo en la bodega de decaimiento con un tiempo de medición de 1 hora, tiempo de transporte 55 minutos, y el valor total de betas 4,61 Bq/m³

Tabla 15-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados 3 días después del fraccionamiento

Filtro HCAM 7 Cuarto Caliente 3 días después del fraccionamiento 16/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,0798	0	4521,27	0	0,00	1943,4	0,00
	0,817	81,7	364,24	0,0710	1133	4521,27	0,25059331	4,32	1943,4	2,22
	0,0717	7,17	636,6	0,0453	0	4521,27	0	0,00	1943,4	0,00
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,1120	0	4521,27	0	0,00	1943,4	0,00
I 131										2,22

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Se utilizó el filtro HCAM 7 para el monitoreo en el cuarto Caliente 3 días después del fraccionamiento con un tiempo de medición en campo de 1 hora y un tiempo de transporte de 45 minutos.

Tabla 16-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto caliente en fraccionamiento

Filtro HCAM 8 Cuarto Caliente en frac 16/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,0798	172	3651,58	0,0471029	9,62	1561,6	6,16
	0,817	81,7	364,24	0,0710	2127	3651,58	0,58248758	10,04	1561,6	6,43
	0,0717	7,17	636,6	0,0453	113	3651,58	0,03094551	9,52	1561,6	6,10
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,1120	0	3651,58	0	0,00	1561,6	0,00
PROMEDIO I 131										6,23

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Utilizando el filtro HCAM 8 se realiza el monitoreo en el cuarto caliente en un día sin manejo de yodo radiactivo con un tiempo de medición en campo de 1 hora, tiempo de transporte 30 minutos; la campana se encontraba cerrada el valor de betas totales es de 1,26 Bq/m³

Tabla 17-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-sala de Gama cámara

Filtro HCAM 9 Sala de gamma cámara 22/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,0798	0	4634,48	0	0,00	1631,3	0,00
	0,817	81,7	364,24	0,0710	0	4634,48	0	0,00	1631,3	0,00
	0,0717	7,17	636,6	0,0453	0	4634,48	0	0,00	1631,3	0,00
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,1120	49048	4634,48	10,5832801	106,17	1631,3	65,08
PROMEDIO I 131										0,00

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Tabla 18-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Cuarto caliente en fraccionamiento.

Filtro HCAM 10 Cuarto Caliente 22/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,0798	0	60215,52	0	0,00	1657,6	0,00
	0,817	81,7	364,24	0,0710	1206	60215,52	0,02002806	0,35	1657,6	0,21
	0,0717	7,17	636,6	0,0453	0	60215,52	0	0,00	1657,6	0,00
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,1120	4940	60215,52	0,08203865	0,82	1657,6	0,50
I 131										0,21

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Tabla 19-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Oficina

Filtro HCAM 11 Oficina Físico médico (Sin fraccionamiento en curso) 22/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,07977655	0	6282,55	0	0,00	1617	0,00
	0,817	81,7	364,24	0,07103861	0	6282,55	0	0,00	1617	0,00
	0,0717	7,17	636,6	0,04532641	0	6282,55	0	0,00	1617	0,00
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,112	6008	6282,55	0,95629959	9,59	1617	5,93
PROMEDIO I 131										0,00

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Utilizando el filtro HCAM 11 se realizó el monitoreo en la oficina del físico médico en un día sin manejo de yodo radiactivo y con un tiempo de medición en campo de 1 hora tiempo de transporte 30 minutos; en oficina se encontraban 5 personas presentes.

Tabla 20-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-Sala de espera

Filtro HCAM 12 Sala de espera 23/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,0798	0	5623,35	0	0,00	1689	0,00
	0,817	81,7	364,24	0,0710	0	5623,35	0	0,00	1689	0,00
	0,0717	7,17	636,6	0,0453	0	5623,35	0	0,00	1689	0,00
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,1120	502967	5623,35	89,442592	897,30	1689	531,26
PROMEDIO I 131										0,00

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Utilizando el filtro HCAM 12 se realizó el monitoreo en la sala de espera en un día sin manejo de yodo radiactivo y con un tiempo de medición en campo de 1 hora tiempo de transporte de 25 minutos; en la sala de espera se encontraban 4 pacientes, 3 familiares y con un valor de betas totales de 7,16 Bq/m³.

Tabla 21-2: Registro de valores de actividad por lugares muestreados-oficina físico medico fraccionamiento en curso

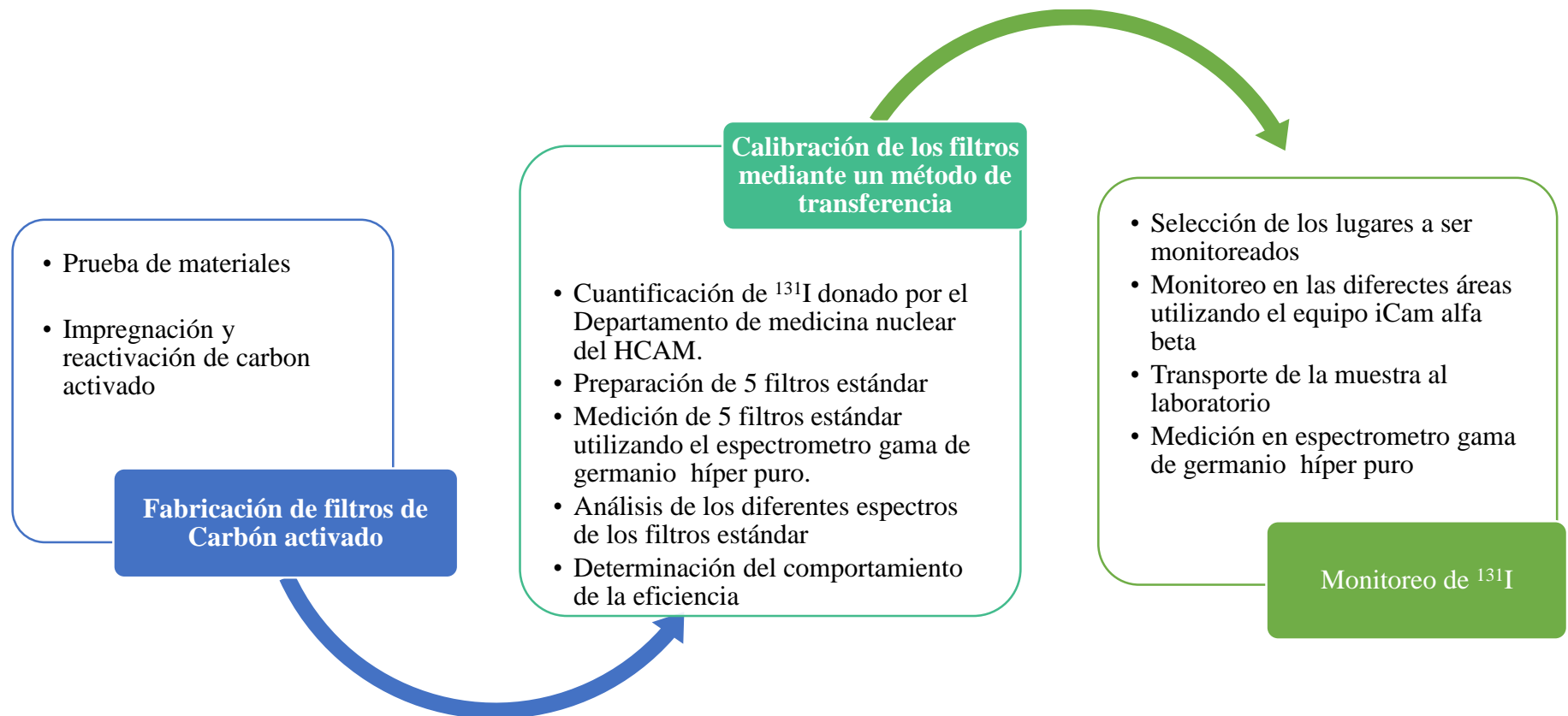
Filtro HCAM 13 Oficina Físico médico (fraccionamiento en curso) 23/09/2016										
Radionucleido	Intensidad Gamma	Intensidad Gama %	Energia Gamma	Eficiencia	Area bajo la curva del espectro (cuentas)	Tiempo vivo del detector	Tasa de conteo	Actividad del Yodo 131 (Bq)	Volumen (l)	Actividad Especifica Bq/m3
I 131	0,0614	6,14	284,2	0,07977655	0	5690,21	0	0,00	1770	0,00
	0,817	81,7	364,24	0,07103861	0	5690,21	0	0,00	1770	0,00
	0,0717	7,17	636,6	0,04532641	0	5690,21	0	0,00	1770	0,00
Tecnecio	0,89	89	140,4	0,112	9775	5690,21	1,71786279	17,23	1770	9,74
PROMEDIO I 131										0,00

Fuente: Pedro Cadena, 2016.

Utilizando el filtro HCAM 13 se realizó el monitoreo en la oficina del físico médico mientras se desarrollaba el fraccionamiento de yodo radiactivo; se toma en cuenta un tiempo de medición en campo de 1 hora; el valor de betas totales de 1,05 Bqh/m3

2.5 Modelación matemática de la experimentación (Diseño experimental)

Presentamos a continuación el modelo experimental que se llevó a cabo para poder realizar este trabajo experimental:



2.5.1 Calibración en eficiencia

La calibración en eficiencia me permite encontrar la eficiencia de los filtros de carbón activado al ser medidos en el espectrómetro gamma GCD-4018X y con esto me permite encontrar el valor real de la actividad.

La determinación cuantitativa de los radioelementos presentes en las muestras requiere el conocimiento de la eficiencia (ϵ) del sistema muestra detector, que mide la relación entre la tasa de recuento del detector y la tasa de emisión de la muestra, para cada energía gamma. La eficiencia depende de una gran cantidad de factores relacionados con el fenómeno de la detección de la radiación, como:

- ✚ La energía
- ✚ La composición y geometría de la muestra
- ✚ La composición y geometría del detector,
- ✚ La posición relativa
- ✚ Presencia de materiales entre ambos.

Es necesario, por tanto, obtener la calibración en eficiencia (ϵ) del sistema muestra detector, es decir, determinar ϵ en función de todos los parámetros variables de los que depende dicha eficiencia.

- ✚ ϵ es la eficiencia del sistema muestra-detector se define como la relación entre la tasa de recuento y la tasa de emisión de la radiación gamma de determinada energía.
- ✚ N es el número de emisiones que realiza la muestra.
- ✚ D es el número de detecciones que hace el detector

$$\epsilon = \frac{D}{N} \quad [1]$$

El conocimiento de la eficiencia es fundamental para determinar la actividad de las muestras. El número de fotones N de determinada energía emitidos durante un tiempo t , por un radionúclido presente en la muestra con actividad A es

$$N = AYt \quad [2]$$

Donde:

✚ Y es la intensidad asociada a la emisión.

Utilizando la definición de eficiencia se tiene

$$A = \frac{D}{\epsilon Y t} = \frac{r}{\epsilon Y} \quad [3]$$

Expresión que nos va a permitir determinar la actividad de la muestra a través del conteo del número de detecciones D o equivalente a la tasa de recuento r .

$$r = \frac{D}{t} \quad [4]$$

Donde:

✚ r es la tasa de recuento y se representa como el número de cuentas por segundo (cps).

La eficiencia que se utiliza para este fin es la del fotopico, dado que es relativamente sencillo deducir del espectro el número de detecciones de absorción total, que consiste en el área del fotopico correspondiente, a la que sustraemos el número de detecciones interferentes que provienen del fondo, en caso de que exista.

2.5.2 Curva de calibración de Eficiencia en valores de energía

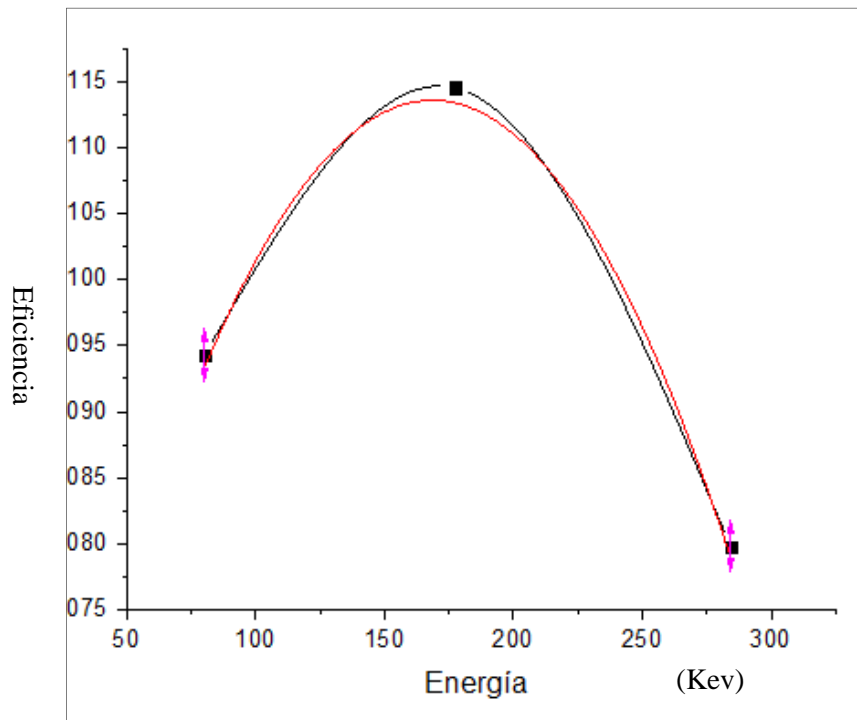


Gráfico 1-2: Eficiencia vs Energía

Fuente: Pedro Cadena, 2016

Donde la gráfica eficiencia vs energía tiene la forma característica dada por espectrometría gamma para curvas de calibración en eficiencia; la figura 11 representa la ecuación que rige el comportamiento de la eficiencia en función de la energía, La cual nos sirve para interpolar valores de eficiencia siempre y cuando se encuentren dentro de los valores de energía previamente encontrados representativos del yodo 131.

Tabla 22-2: Ecuación representativa de la eficiencia

Model	Parabola		
Equation	$y = A + B*x + C*x^2$		
Reduced Chi-Sqr	0		
Adj. R-Squ	0		
	Value	Standard E	
B	A	0,04001	0
	B	8,7278E-	0
	C	-2,58851	0

Fuente: Pedro Cadena

2.5.3 Calculo de eficiencia para Tecnecio 99

En los diferentes espectros de mediciones de campo realizados en el departamento de medicina nuclear del HCAM podemos observar la presencia de un pico en la energía de 140.5 kev la cual pertenece a ^{99}Tc , para poder tener el valor de eficiencia de este radionúclido utilizamos la ecuación en la figura 15 donde reemplazando en x el valor de energía de 140.5 kev tenemos un valor en y de:

$$y = 0.1120$$

Dicho valor representa la eficiencia en energía 140.5 kev y por ende la eficiencia representativa al ^{99}Tc

CAPITULO III

3. Análisis e interpretación de resultados

3.1 Resultados de filtros estándar

Los resultados de la tabla 4 a la tabla 6 representan los filtros de calibración para eficiencia para los diferentes valores de energía, el valor de eficiencia es hallado mediante la ecuación 1 donde el espectrómetro gamma nos proporciona el número de cuentas por segundo (área bajo la curva de cada nivel de energía); es importante mencionar que el espectrómetro gama de germanio hiper discrimina los valores del fondo para tener un valor más preciso.

En la tabla 9 encontramos la desviación estándar calculada en base a los valores de eficiencia de los filtros estándar; la misma que nos indica que la dispersión de los valores de eficiencia es mínima y los diferentes valores encontrados tienen coherencia entre sí; los valores de eficiencia representativos para las energías del ^{131}I son el promedio de las eficiencias de los filtros estándar y van en un rango de valores de 0,045 a 0,115 lo cual nos indica que de cada 100 cuentas el detector es capaz de identificar 8 cuentas en promedio.

3.2 Resultados de monitoreo en campo

Los datos obtenidos en las tablas 11 a la tabla 22 representan los valores obtenidos en la medición del área de medicina nuclear del HCAM; donde podemos observar que el valor más alto de actividad calculada es en el cuarto caliente en fraccionamiento (tabla 10) con un valor de actividad de $39,26 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$.

Los valores de actividad encontrados en los diferentes niveles de energía son valores muy cercanos lo cual nos indica que la actividad calculada es coherente y el valor promedio es representativo para el ^{131}I .

En las tablas 12 a la 16 podemos ver que el detector solo encuentra valores en el principal rango de energía de 364,24 keV, esto se da debido a que este nivel de energía tiene una intensidad gamma del 81,7%, además como los valores de ^{131}I son muy pequeños, el detector no logra identificar los

picos de menor intensidad gamma por lo tanto los valores de actividad de este nivel de energía son los representativos del ^{131}I .

En las tablas 1, 18, 19, 20, 21 y 22 encontramos la presencia de ^{99}Tc debido a que en el departamento de medicina nuclear es muy utilizado como marcador radiactivo en procedimientos de diagnóstico y además es un elemento aerosol; el valor de actividad más alto encontrado de ^{99}Tc es de $531,21 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ encontrado en la sala de espera donde se encontraban 4 pacientes y 3 familiares.

El monitoreo en el cuarto caliente utilizando el filtro HCAM1 con una concentración de ^{131}I en el aire de $39,36 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$, representa el valor más alto encontrado el cual se da debido a que se encuentra en un lugar de alta manipulación de ^{131}I .

3.3 Curvas características de la experimentación

A continuación, presentamos los diferentes espectros obtenidos mediante espectrometría gamma de germanio hiper puro y representan los dos principales estudios realizados: filtros estándar para eficiencia y filtros en monitoreo de campo en el área de medicina nuclear del Hospital Carlos Andrade Marín.

3.3.1 Filtros estándar

3.3.1.1 Filtro estándar A

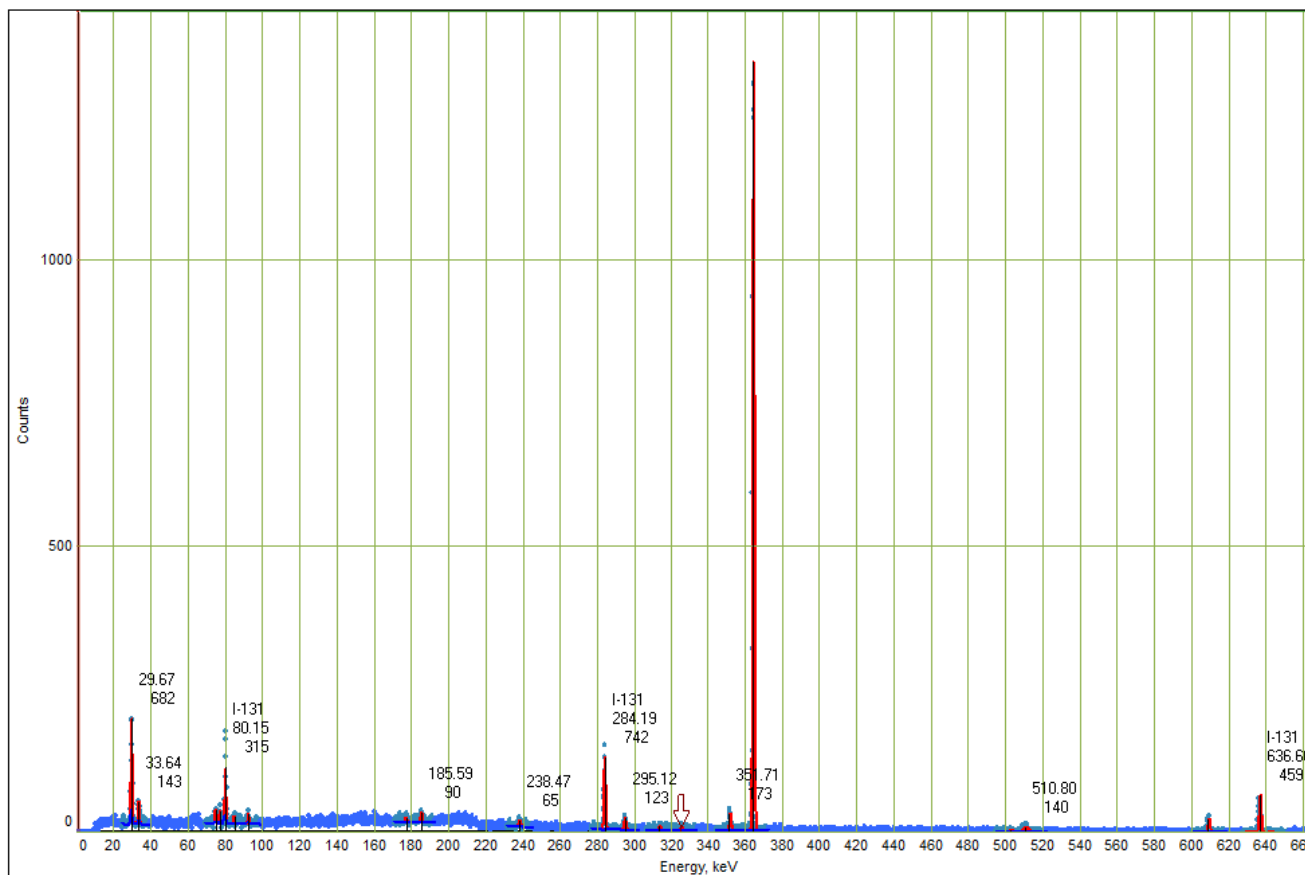


Gráfico 1-3 Espectro filtro estándar A con presencia de ^{131}I

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.1.2 Filtro estándar B

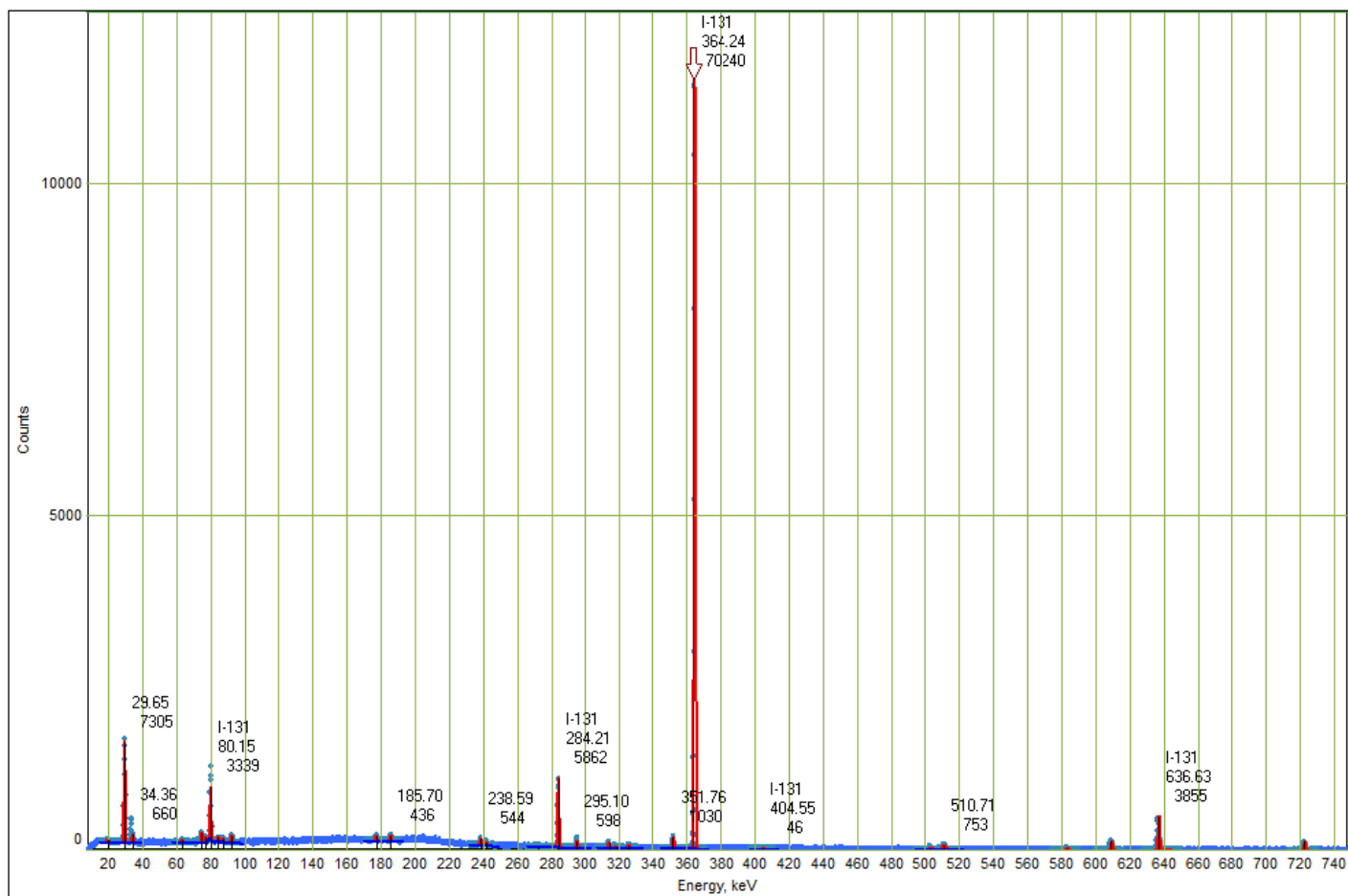


Gráfico 2-3 Espectro estándar B con presencia de I^{131}

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.1.3 Filtro estándar C

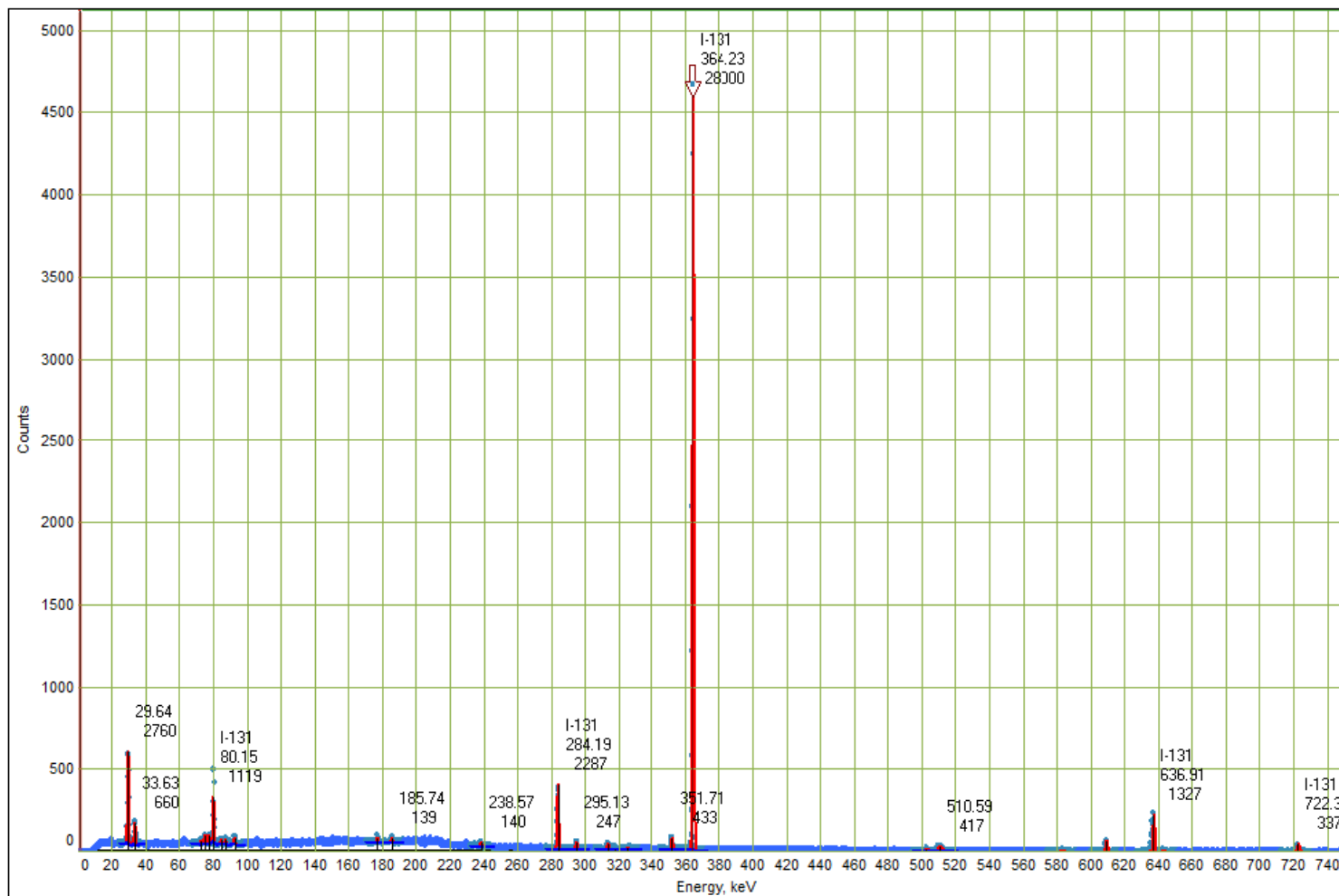


Gráfico 3-3 Espectro estándar C con presencia de I^{131}

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.1.4 Filtro estándar D

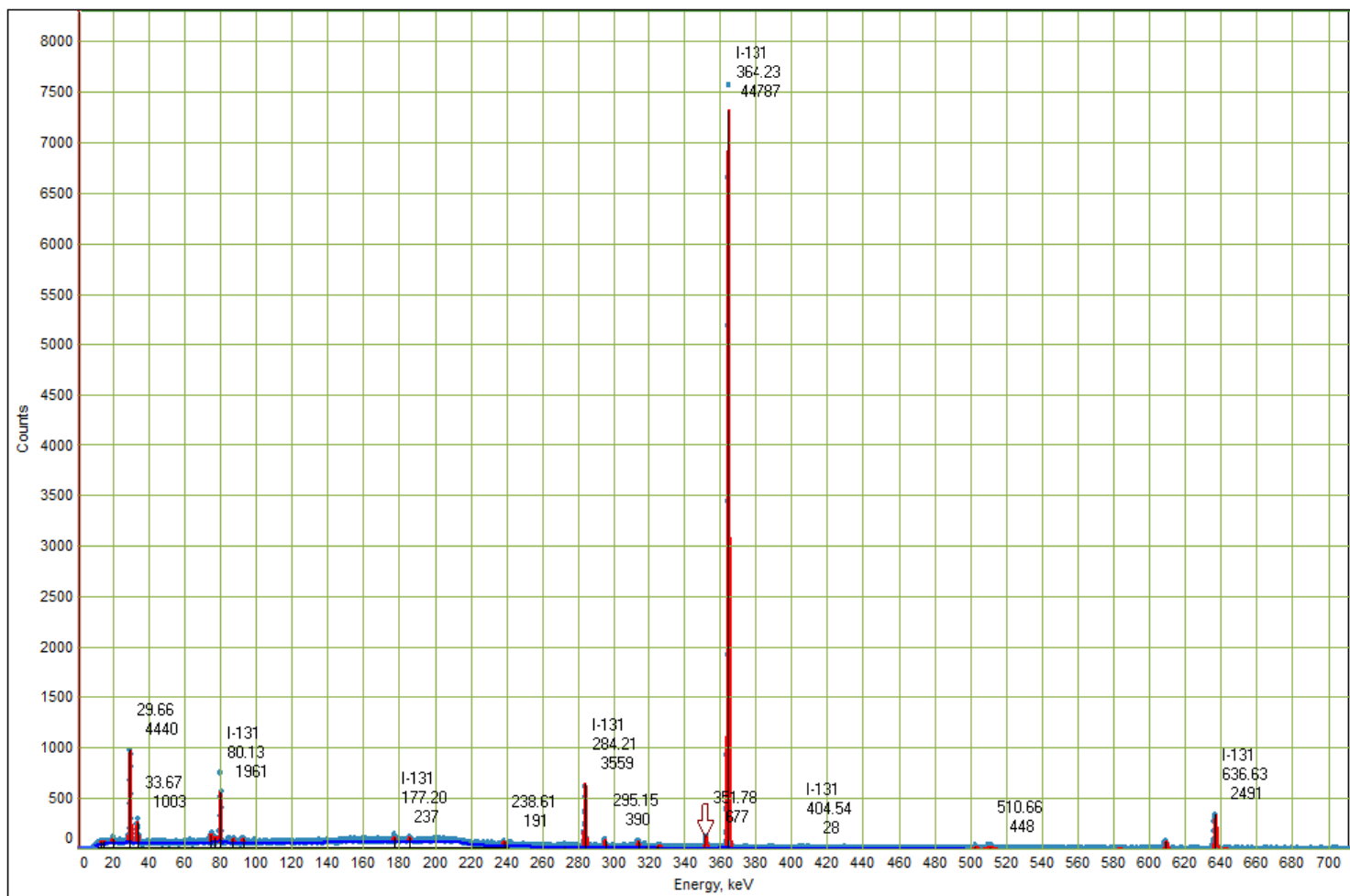


Gráfico 4-3 Espectro estándar D con presencia de ^{131}I
 Fuente: Espectrómetro gamma SCAN
 Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.1.5 Filtro estándar E

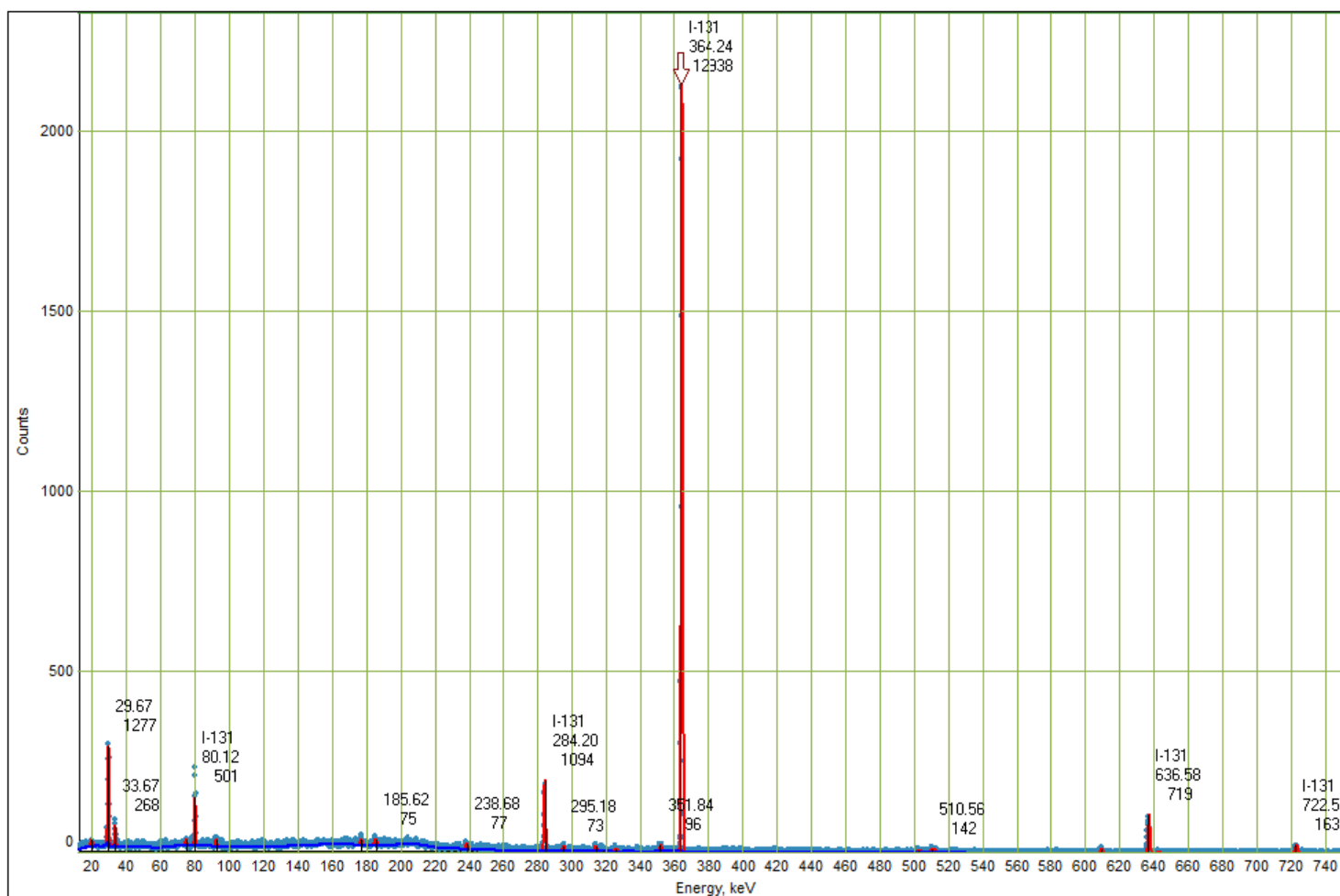


Gráfico 5-3 Espectro estándar E con presencia de ^{131}I

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2 Filtros de medición en campo (medicina nuclear hcam)

3.3.2.1 Filtro HCAM 1 Cuarto Caliente en fraccionamiento I 131 09/09/2016

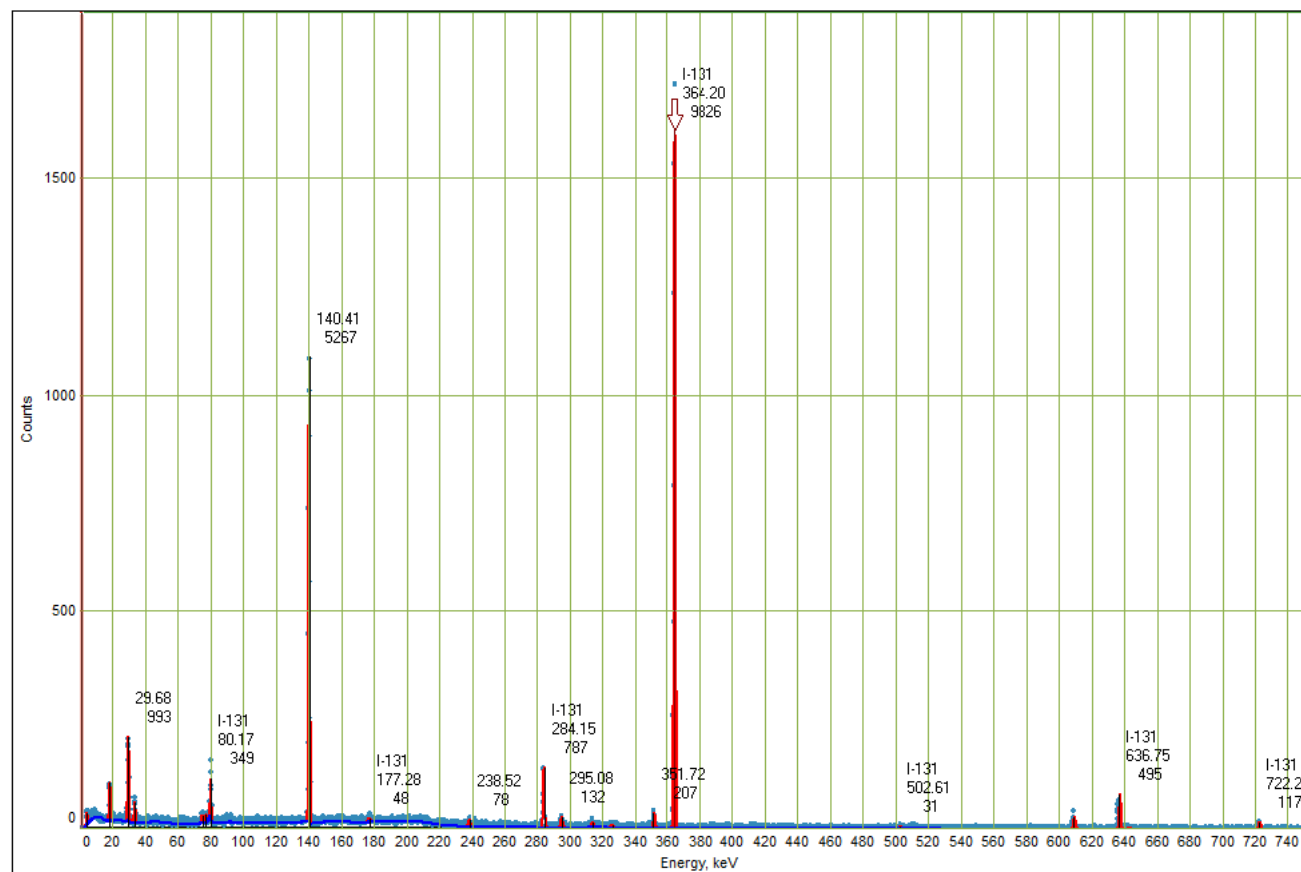


Gráfico 6-3 Espectro medición en campo: cuarto caliente con presencia de ^{131}I y ^{99}Tc

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.2 Filtro HCAM 2 Cuarto Pacientes (2 Pacientes) 14/09/2016

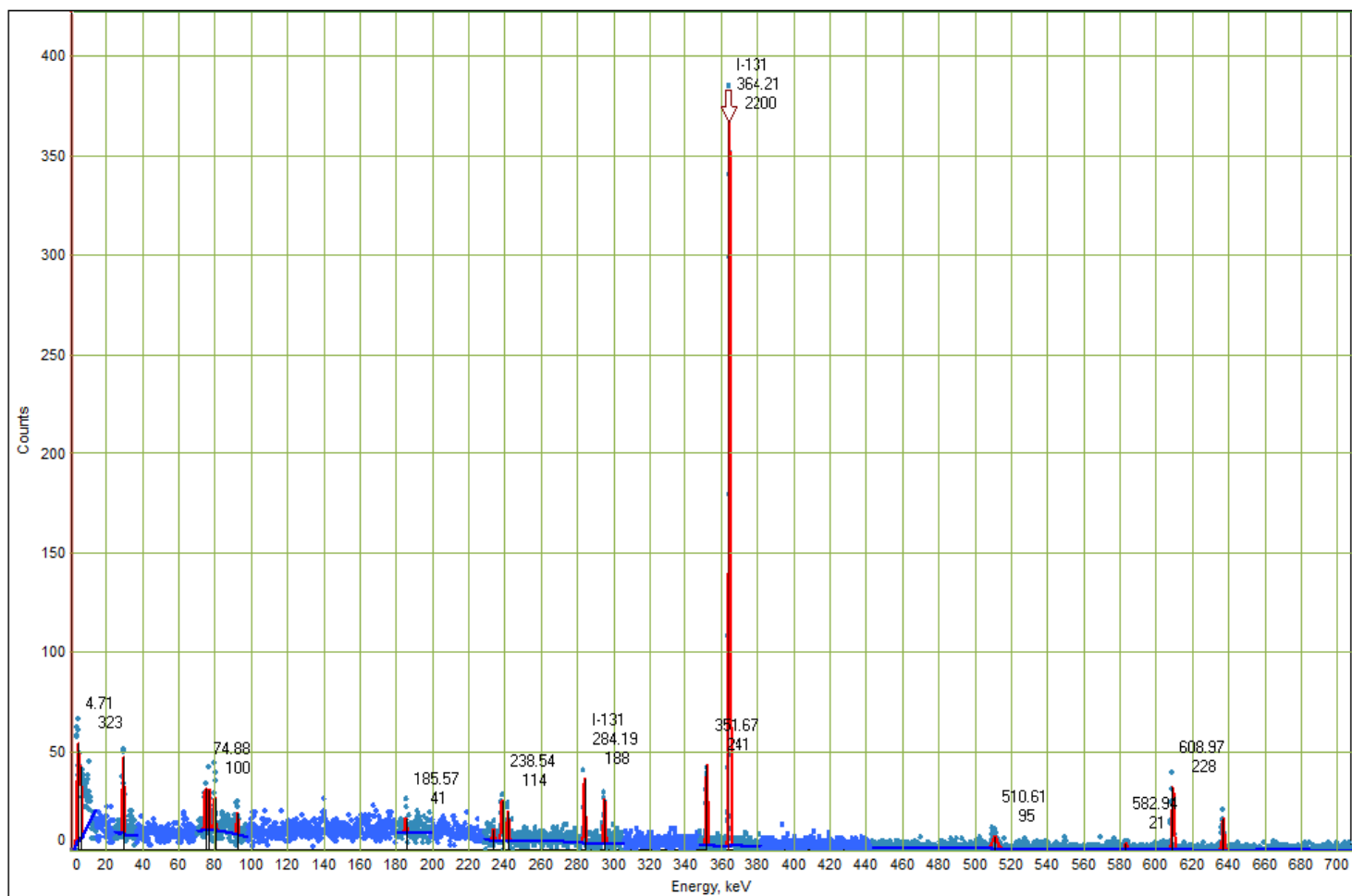


Gráfico 7-3 Espectro en medición en campo: cuarto pacientes con presencia de ^{131}I (2p)

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.3 Filtro HCAM 3 Cuarto Pacientes (1 Paciente) 14/09/2016

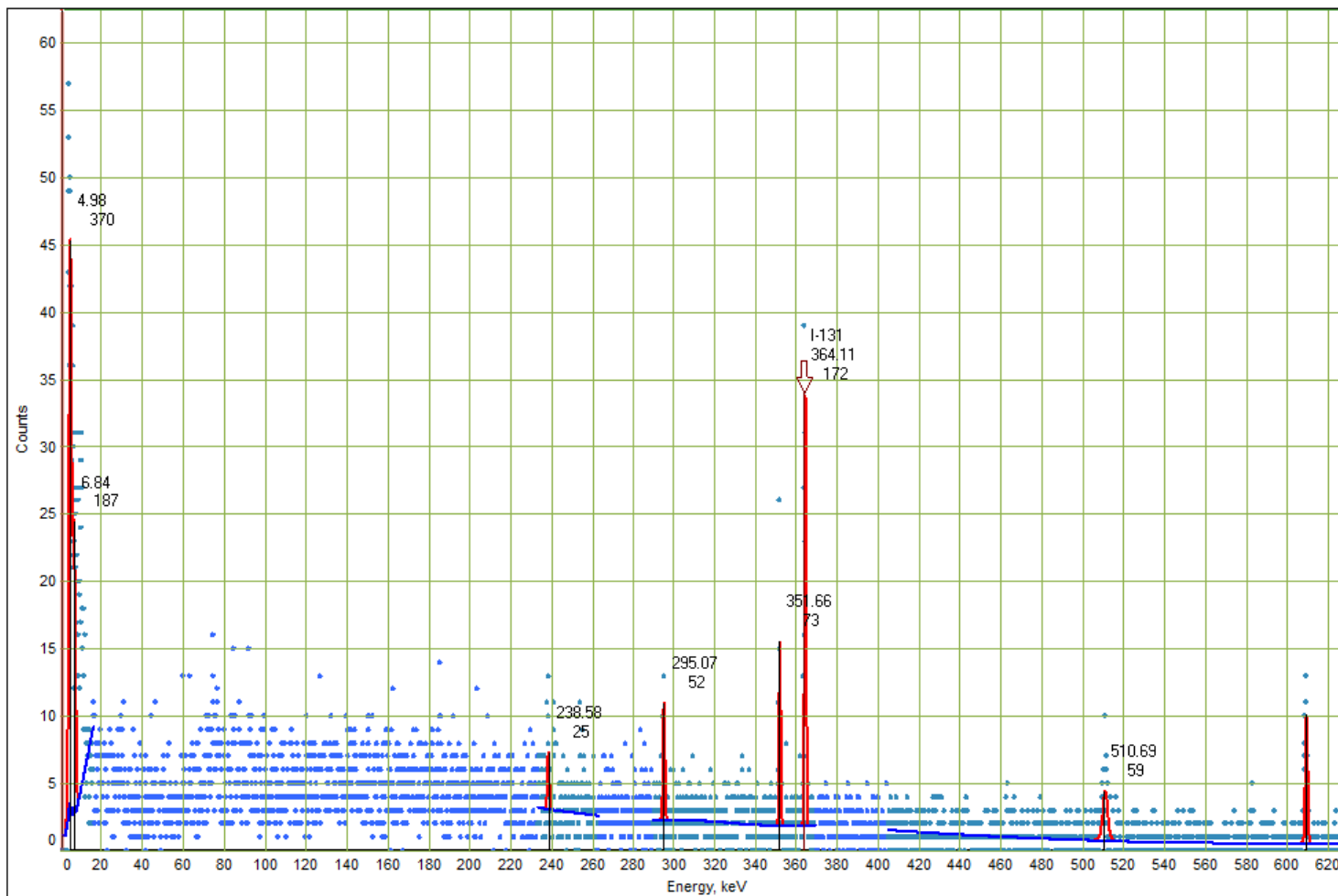


Gráfico 8-3 Espectro de medición en campo: cuarto pacientes con presencia de ^{131}I (1p)

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.4 Filtro HCAM 4 Cuarto Pacientes (1 paciente) 15/09/2016

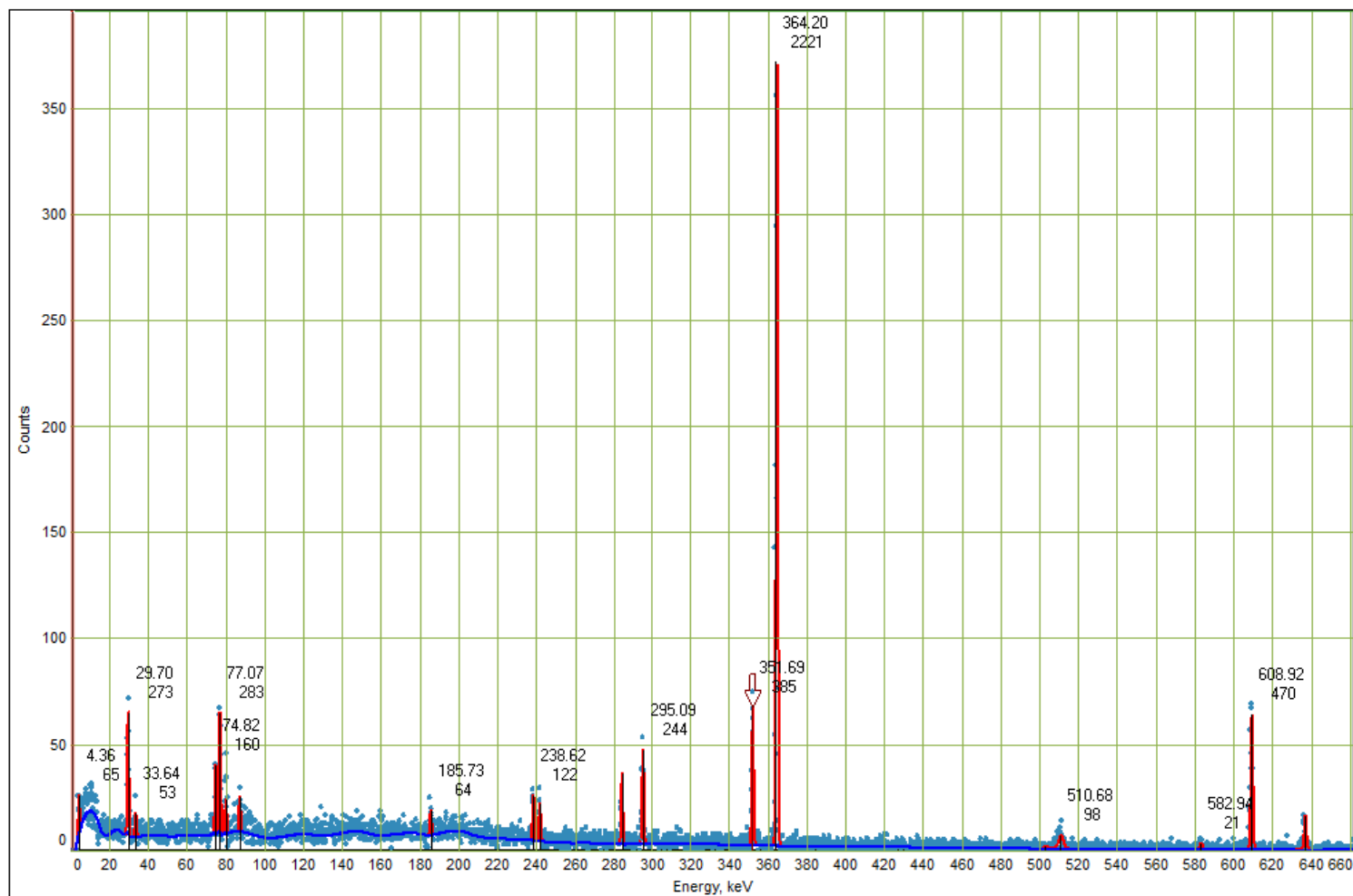


Gráfico 9-3 Espectro de medición en campo: Cuarto pacientes con presencia de ^{131}I (1p)

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.5 Filtro HCAM 5 Sala de espera 15/09/2016

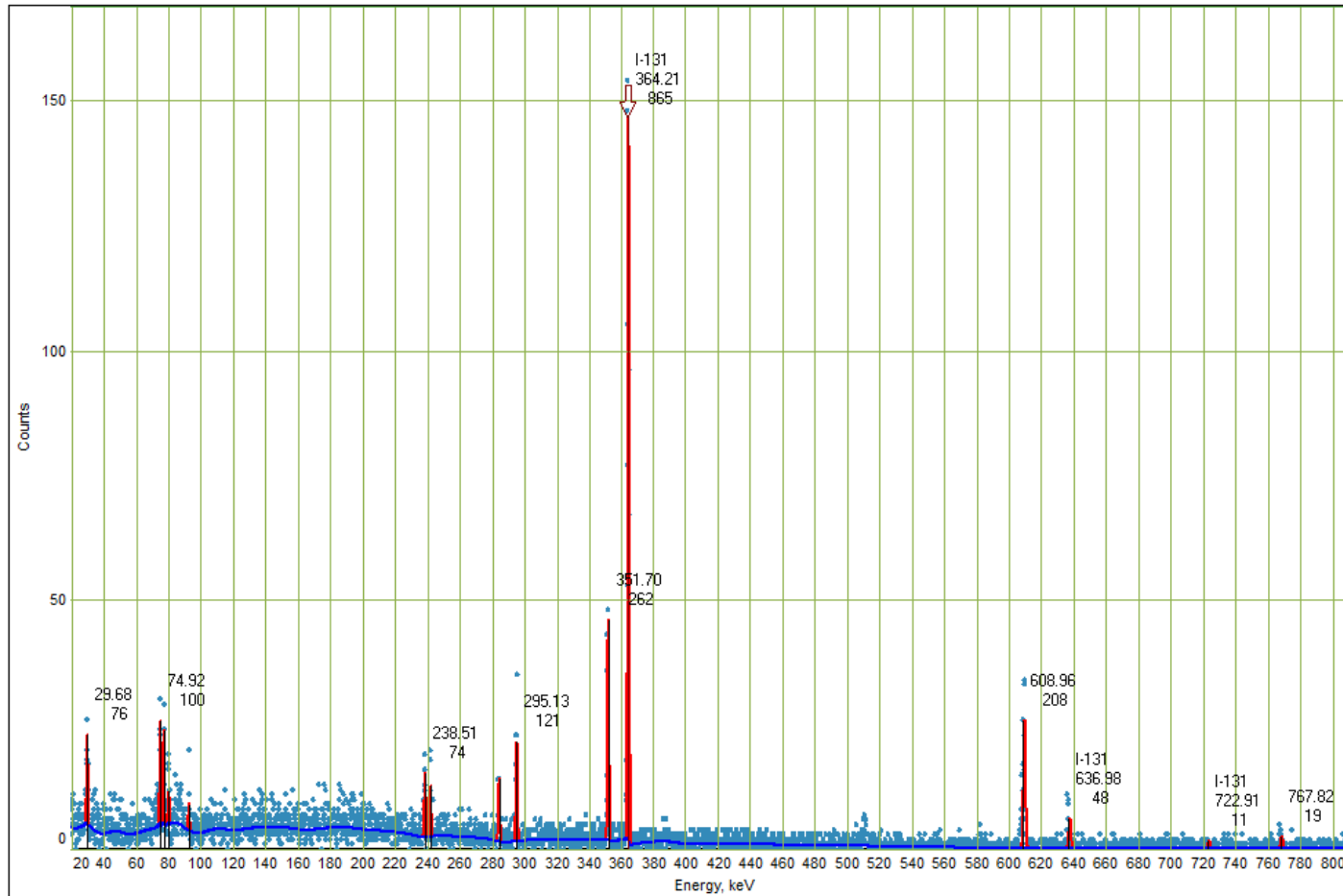


Gráfico 10-3 Espectro de medición en campo: Sala de espera con presencia de ^{131}I

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.6 Filtro HCAM 6 (Bodega de decaimiento) 16/09/2016

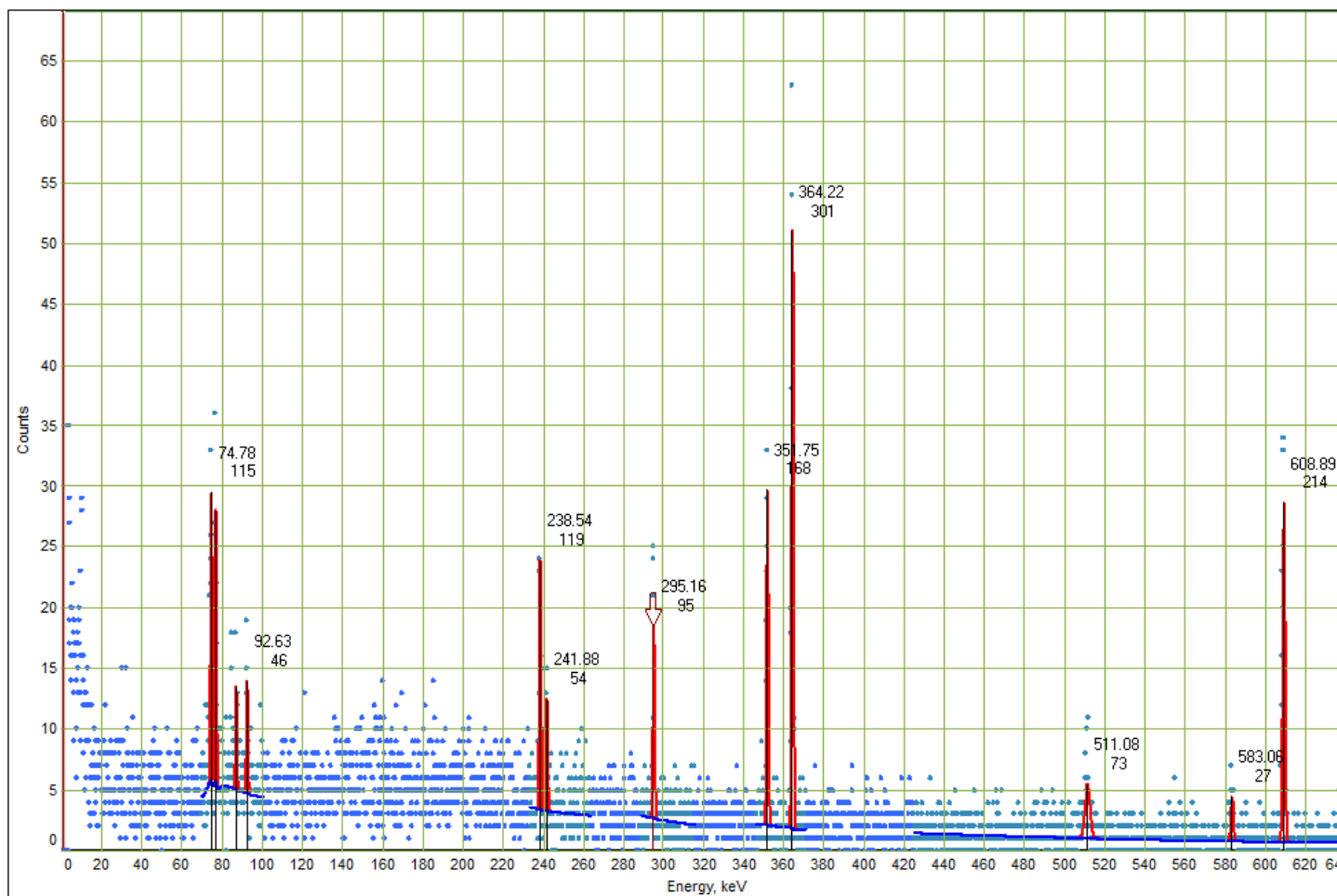


Gráfico 11-3 Espectro de medición en campo: Bodega de decaimiento con presencia de ^{131}I

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.7 Filtro HCAM 7 Cuarto Caliente 3 días después del fraccionamiento 16/09/2016

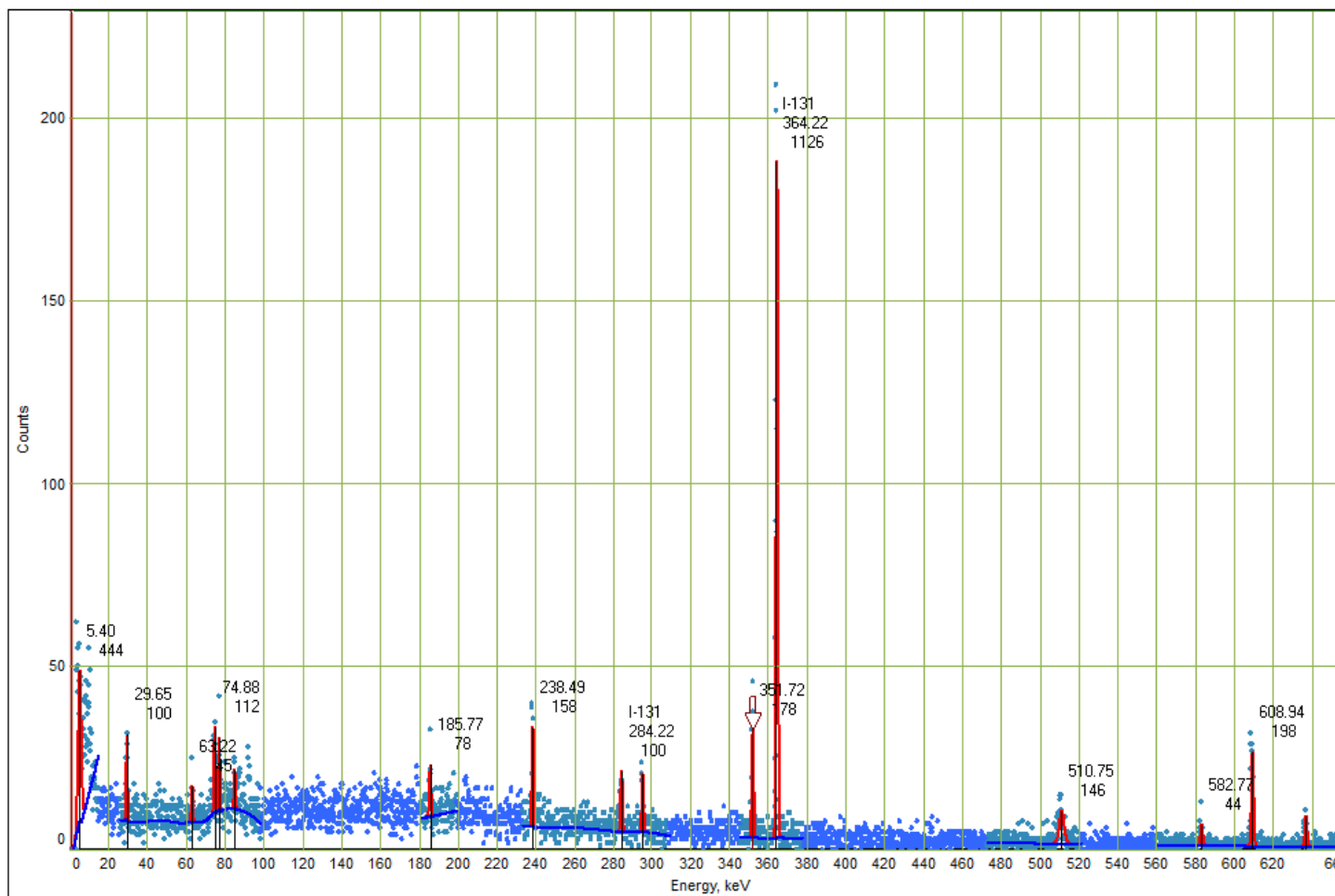


Gráfico 12-3 Espectro de medición en campo: Cuarto Caliente 3 días del fraccionamiento con presencia de ^{131}I

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.8 Filtro HCAM 8 Cuarto Caliente en fraccionamiento 16/09/2016

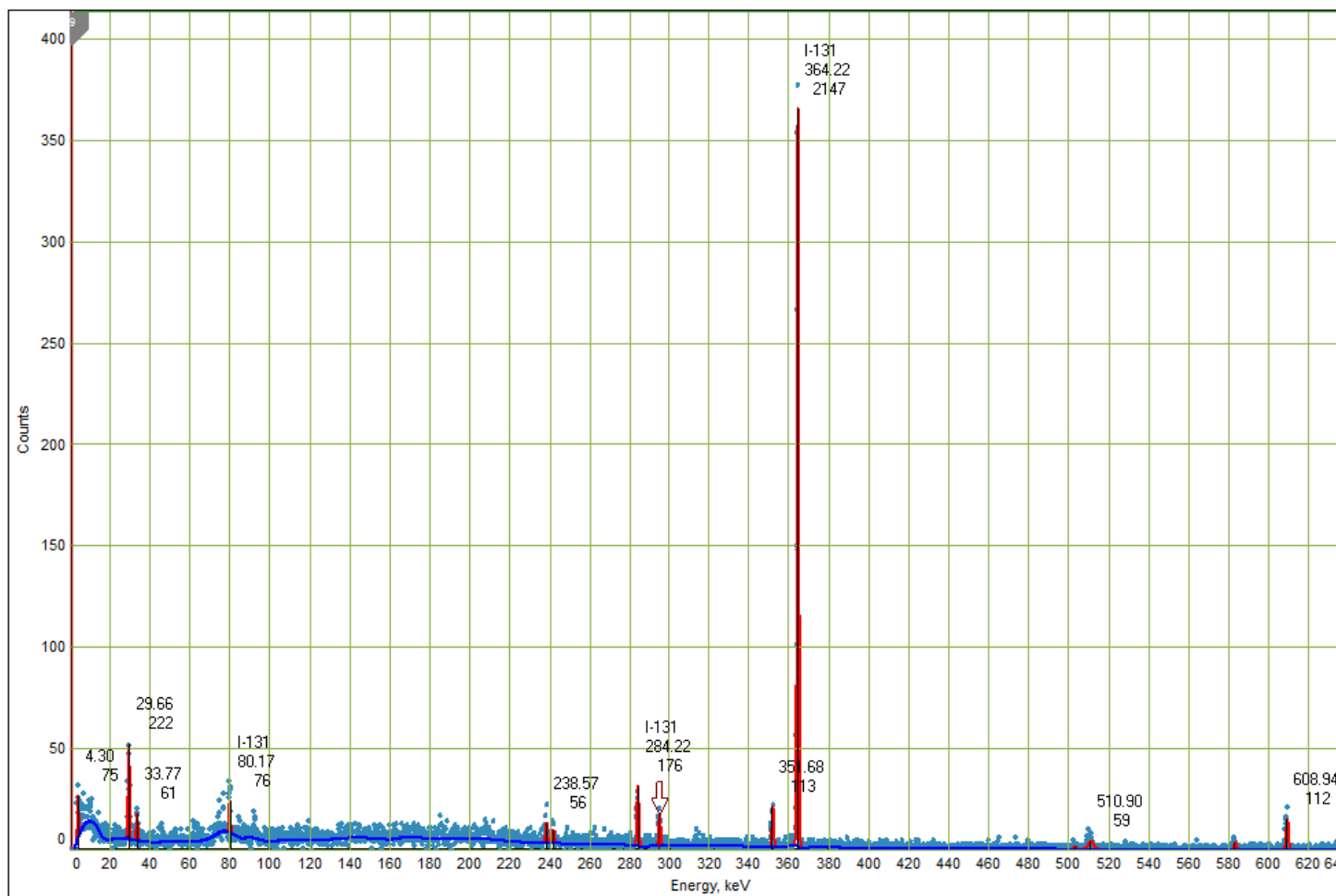


Gráfico 13-3 Espectro de medición en campo: Cuarto caliente en fraccionamiento con presencia de ^{131}I

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.9 Filtro HCAM 9 gamma cámara radiólogos 22/09/2016

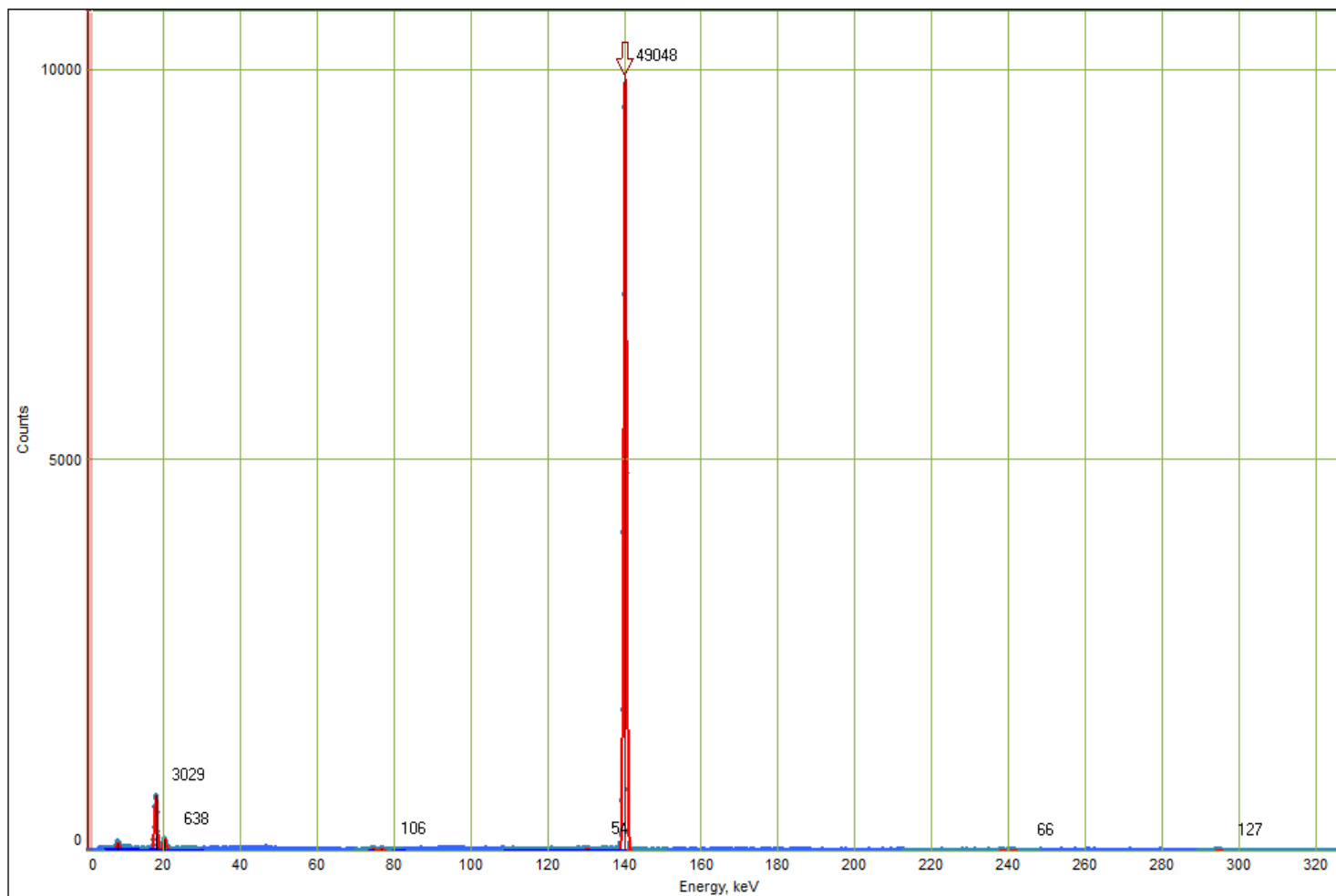


Gráfico 14-3 Espectro de medición en campo: gamma cámara radiólogos con presencia de ^{99}Tc

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.10 Filtro HCAM 10 Cuarto Caliente 22/09/2016

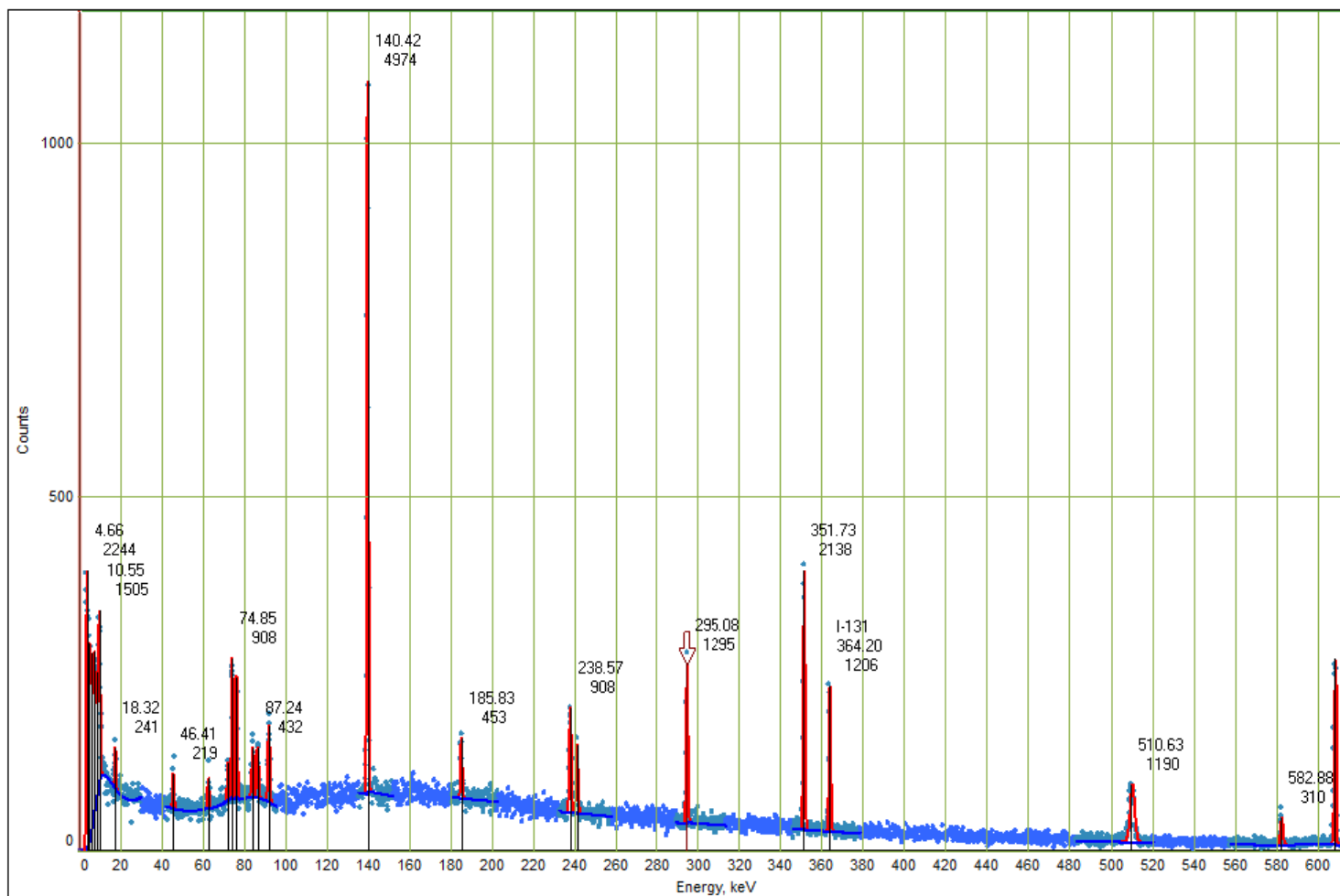


Gráfico 15-3 Espectro de medición en campo: cuarto caliente con presencia de ^{99}Tc

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.11 Filtro HCAM 11 Oficina 22/09/2016

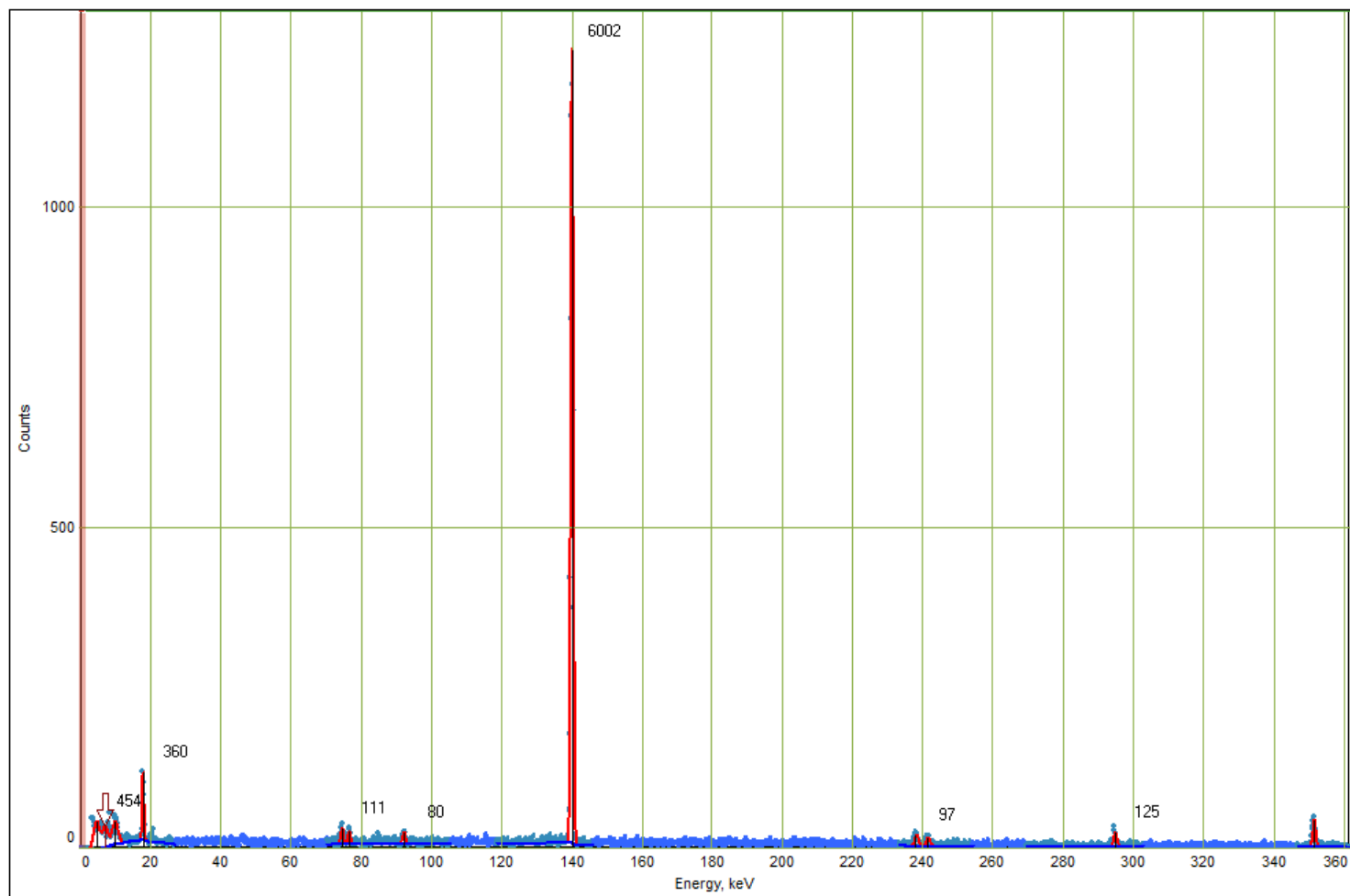


Gráfico 16-3 Espectro de medición en campo: oficina con presencia de ⁹⁹Tc

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.12 Filtro HCAM 12 Sala de espera 23/09/2016

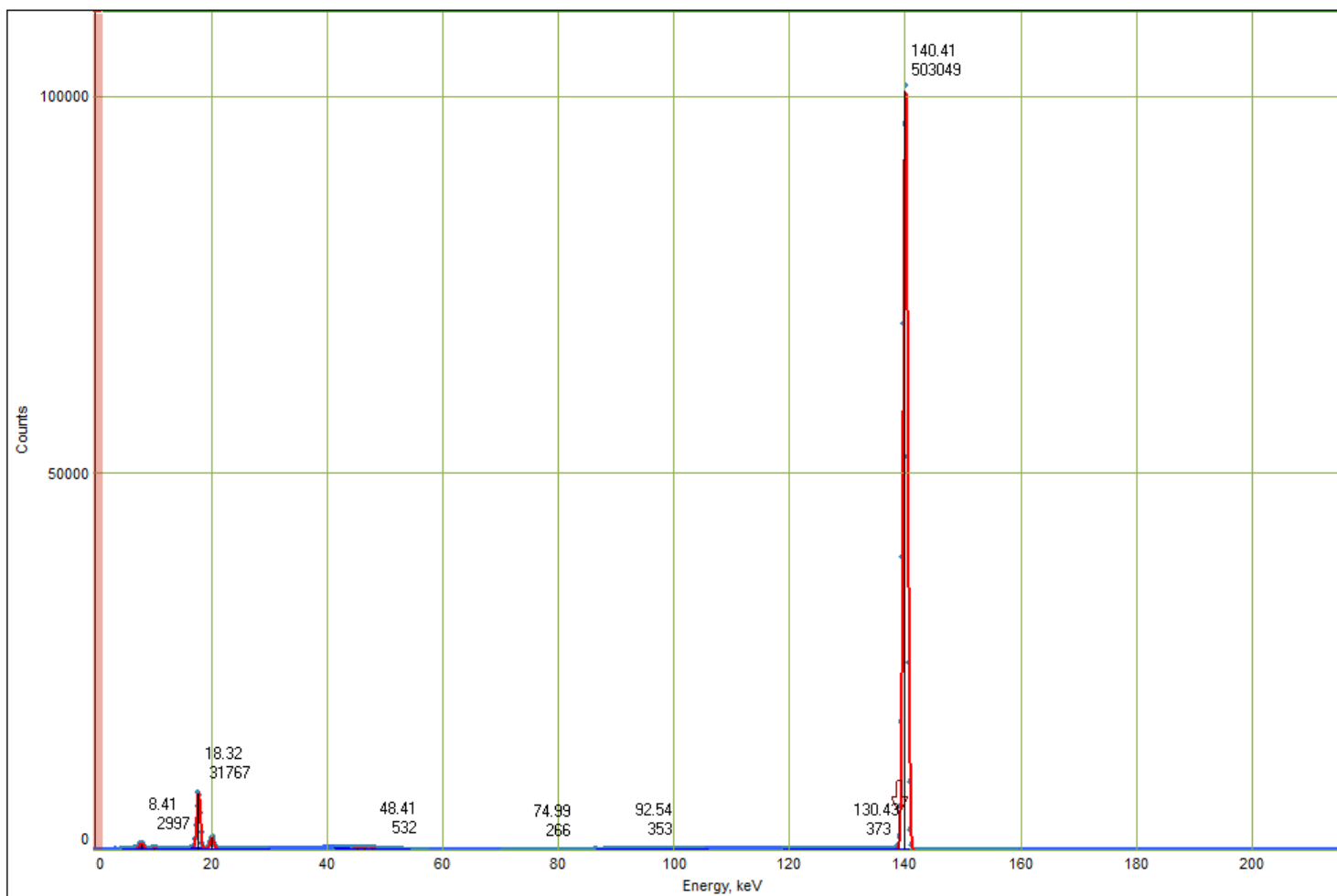


Gráfico 17-3 Espectro de medición en campo: sala de espera con presencia de ^{99}Tc

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.2.13 Filtro HCAM 13 Oficina (fraccionamiento en curso) 23/09/2016

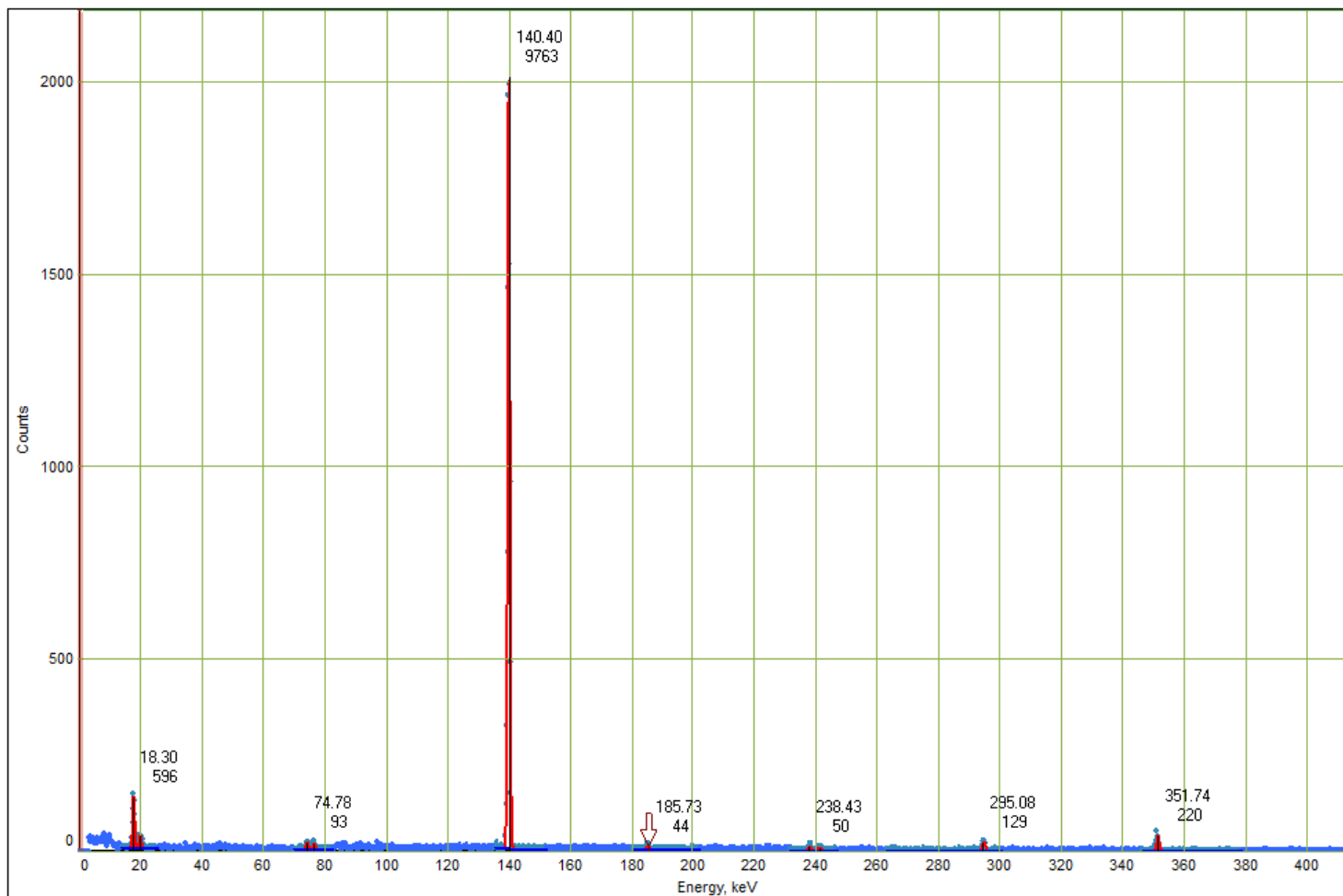


Gráfico 18-3 Espectro de medición en campo: oficina (fraccionamiento en curso) con presencia de ^{99}Tc

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.3 Fondo espectral gamma después del monitoreo

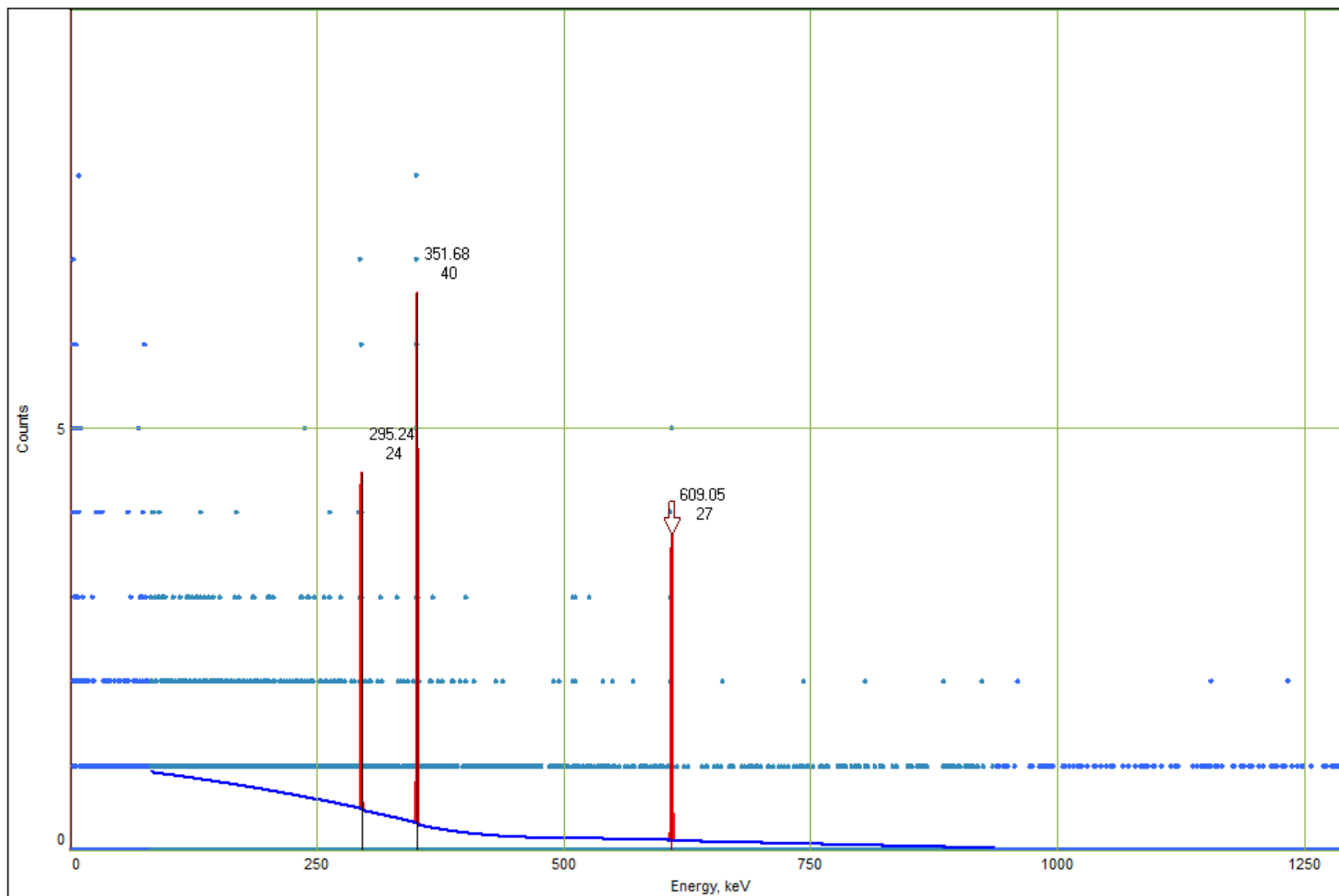


Gráfico 19-3 Espectro fondo del espectrómetro gamma después del monitoreo

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.3.4 Fondo Filtro sin uso

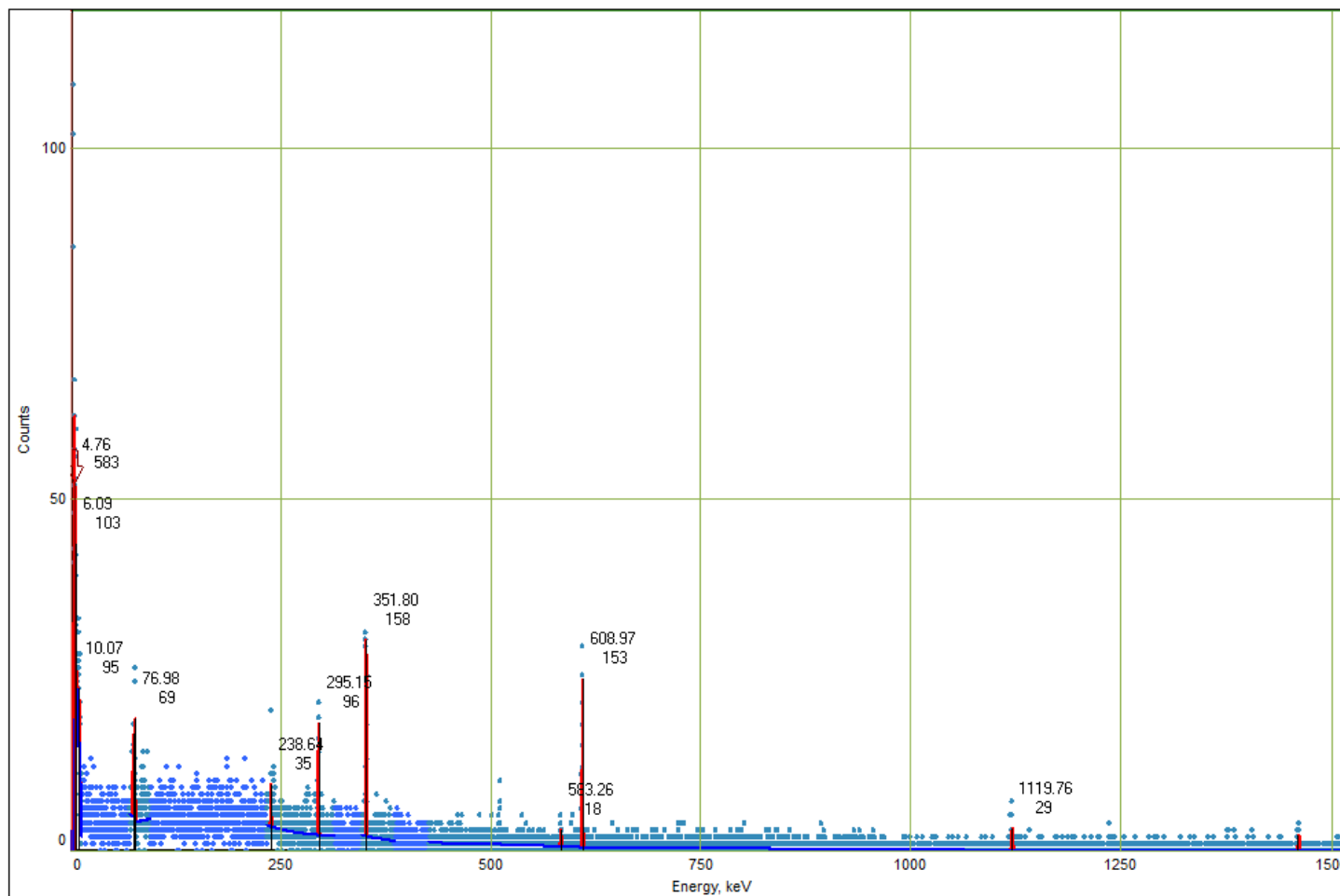


Gráfico 20-3 Espectro fondo filtro sin uso

Fuente: Espectrómetro gamma SCAN

Realizado por: Pedro Cadena, 2016

3.4 Análisis Espectral

- ✚ Los diferentes espectros obtenidos utilizando espectrometría gamma muestran picos puntuales representativos de rangos de energía que nos permiten identificar diferentes radionúclidos.
- ✚ En la figura 26 y 27 se observa los espectros tanto del espectrómetro sin filtros como un filtro sin uso donde podemos darnos cuenta que no existe ninguna contaminación ni del equipo ni de los filtros, por lo tanto, las mediciones antes realizadas son representativas de los lugares monitoreados.
- ✚ Se puede visualizar con claridad los picos representativos del ^{131}I en las energías de 364,24 keV; 636,58 keV; 284,20 keV; 80,12 keV, los cuales tienen un mayor número de cuantas de acuerdo a su intensidad, en la figura 16, 17, 20 solo encontramos la energía de mayor intensidad de yodo debido a la baja cantidad de cuentas almacenadas en el filtro de CA.
- ✚ Podemos observar TC^{-99} a través de su pico representativo de 140 keV.

CONCLUSIONES

- ✚ Los filtros de carbón activado contruidos con materiales de oficina e impregnado con NaOH al 2% son capaces de adsorber y absorber ^{131}I , y pueden ser utilizados para el monitoreo en el área de medicina nuclear del HCAM.
- ✚ La eficiencia de filtros de carbón activado puede ser cuantificada de manera puntual utilizando transferencia de calibración y visualizado a través de la curva de calibración, obteniendo la eficiencia para cada valor de energía gamma representativa del ^{131}I .
- ✚ La presencia de ^{131}I en los diferentes lugares escogidos para el monitoreo validan el procedimiento utilizado en la presente investigación.
- ✚ El lugar con mayor concentración de ^{131}I es el cuarto caliente en el momento de fraccionamiento de ^{131}I con una actividad específica de $6,23 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ donde es importante mencionar que el valor más alto medido en el área de medicina nuclear es 2 órdenes de magnitud menor al límite máximo permitido llamado concentración derivada en aire (DAC) de $416,65 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ el cual fue determinado por la Organización Internacional de Energía Atómica y basada en el límite anual de dosis eficaz, frecuencia respiratoria estándar y coeficiente de dosis de ^{131}I ; esto nos indica que los valores de actividad no se encuentran fuera del rango permitido.

RECOMENDACIONES

- ✚ Tomar en cuenta el monitoreo ambiental de ^{131}I para tener un correcto programa de protección radiología ya que dicho radionúclido es aerosol por lo tanto se encuentra en el aire en contacto con el POE y pacientes además la inhalación de ^{131}I es el causante más grande de la dosis interna a los trabajadores de medicina nuclear.
- ✚ Los filtros de CA son capaces de medir ^{99}Tc donde encontramos valores de hasta $531 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ pertenecientes a la sala de espera donde encontramos no solo pacientes sino también familiares, siendo importante continuar este trabajo realizando un monitoreo más profundo de este radionúclido, buscando algún tipo de contaminación ambiental

BIBLIOGRAFÍA

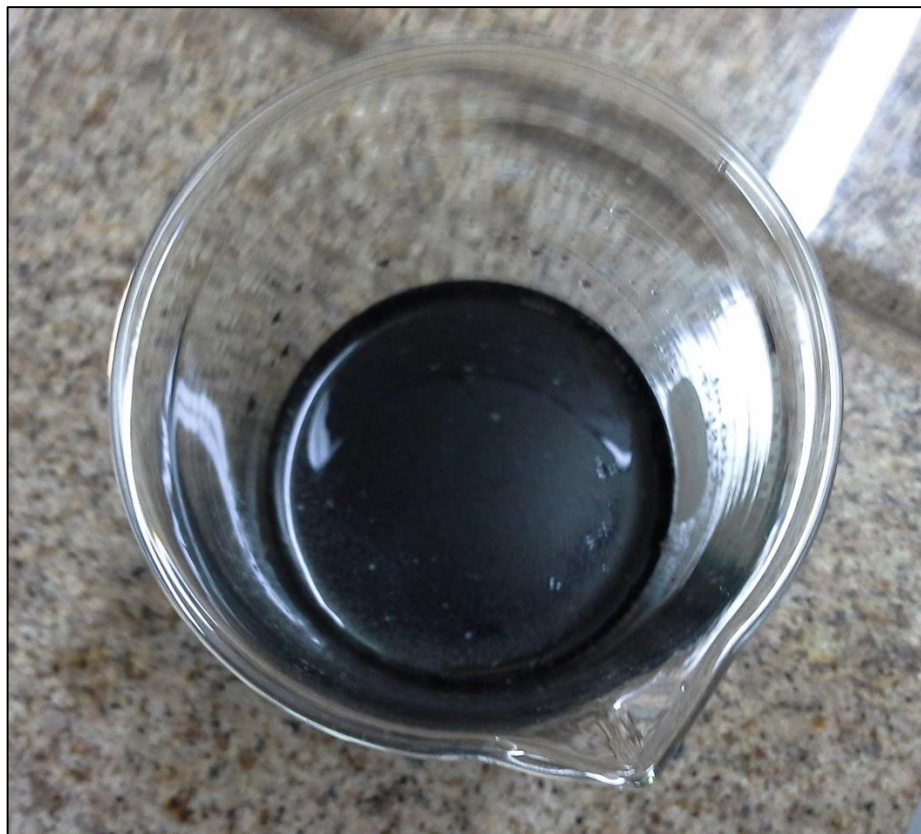
1. **Adams.** *Removal of radiodine from air streams by activated characoal.* 15 ed. Tennessee-Estados Unidos: Oak Ridge 1960, p 12.
2. **Agencia Internacional de Energía Atómica.** *A basic toxicity classification of radionuclides.* 15ed Vienna- Australia: Technical report series IAEA, 1963, p 24.
3. **Agencia Internacional de Energía Atómica.** *Assessment Of Occupational Exposure Due To Intakes of Radionuclides.* Vienna-Australia : IAEA, 1999, p 31
4. **Agencia Internacional de Energía Atómica.** *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources,* Vienna-Australia : International Basic Safety Standards IAEA, 2011, p55.
5. **Asenjo, García.** *Una nueva generación de carbones activados de altas prestaciones para aplicaciones medioambientales* (tesis) (doctoral), Universidad de Oviedo, Asturias, España. 2014, p 33 [Consulta: 2016-|10-10]. Disponible en: <https://goo.gl/IrZ8Re>
6. **Ariza, Alicia Martínez de Yuso.** “Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano”. *Development of activated Carbons from development of activated carbons from adsorption and recovery,* 2012, p 22.
7. **Brosed, Antonio.** *Fundamentos de Física Médica,* 2 vol. Madrid-España, Adi. 2011, p 135.
8. **BSI, Instruments.** *Operating Manual.* Emerson Process Management, 2014, pp. 16-18.
9. **Camberra.** Camberra Company. [Online] 2010. [Cited: Noviembre 11, 2016.] http://www.canberra.com/products/env_rad_monitoring/air-monitors.asp.
10. **Dali AM, Ibrahim AS, Hadi A.** “General study about activated carbon for adsorption carbon dioxide” , Purity, 2012, p 238.
11. **Ghanizadeh GH, Ehrampoush MH, Ghaneian M.** “Application Of iron impregnated activated carbon for removal of arsenic from water.” *Journal of Environ Health SciEng,* vol 7, n 145 (2010), (Iran) p 56.
12. **Gourani, Maghsoud.** “Effect of impregnating materials in activated carbon on Iodine -131 removal efficiency” *Radiation Protection and Environment,* vol 37 (Tehran), (2014), pp 179-183.
13. **Gavila, Frank.** *Radioiodine colection filter efficiency testing program at F&J specialty products*[en línea], Radioiodine Collection Filter Cartridges [Consulta: 15 de Octubre 2016] Disponible en: www.fjspecialty.com/ricf.php
14. **Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.** hcam.iess. [en línea] 2016. [Cited: Noviembre 20, 2016.] http://hcam.iess.gob.ec/?page_id=4461.
15. **ICRP.** *The 1997 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* 2 ed. New York-Estados Unidos: ICRP Publication 1997, p 69.

16. **Jiemwutthisak, P.** “Medicine Workers”. Thai Medical Physicist Society and Faculty of Allied Health Sciences, Naresuan University, 2010 p 66.
17. **Khazov, Mitropolsky, Rodionov.** *Nuclear data sheets*. New York-Estados Unidos: IAEA report, 2006, pp. 1.7, 2715.
18. **Kritskii, V. G.** *Comparative tests of the efficiency of sorption-filtering materials for removing radioactive iodine from gaseous emissions.*, International Atomic Energy Agency Vol. 9, (2004)7, p 97.
19. **Khan, Faiz M. 2003.** *Physics of Radiation Therapy*. 3era edición. Minneapolis, Minnesota : Department of Therapeutic Radiology, University of Minnesota, 2003, p 362.
20. **Omar, Suarez. 2013.** “Monitoreo radiológico a los efluentes radiactivos de tres servicios de medicina nuclear en Ecuador.” *10X Latin American IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety* n1 ,(2013) (Brazil) p 11.
21. **Olson. 2010.** “Activated charcoal for acute poisoning”, *Journey of medical toxicology* (2010), p2.
22. **Quittner, Ph.D.** *Gamma -Ray Spectroscopy with particular reference to detector and computer evaluation techniques*. London, Inglaterra 1972, pp 50-59.
23. **Sing.** “Reporting Physisorption Data For Gas/Solid Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity”, *Pure & Appl Chem*, vol 57, n 4, 1982 p 54.
24. **System, Theremino.** *Gamma Spectrometry*. BCI, 2015, p 26.
25. **Universidad de Sevilla.** *Manual de Carbón Activado*. Sevilla-España: Universidad de Sevilla, 2000, pp. 6-15.
26. **Wan Nik, Rahman, Yusof, Ani, Che Adnan C.M.** “Usage of pal shell activated carbon to treat landfill leachate” *International Conference on Natural Resources Engineering*, vol 5 (Romania), (2014) p 45.
27. **Wankat.** *Ingeniería de los procesos de separación*. West Lafayette-Estados Unidos: Pearson, 2008, p 385
28. **Williams, Eliot.** *Technical Services Group - UKAEA*. [En línea] [Consulta: 10 de octubre 2016] Disponible en: http://www.npl.co.uk/upload/pdf/20061107_armug_williams_1.pdf

ANEXOS

ANEXO A

IMPREGNACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO USANDO NAOH Y FILTRACIÓN AL VACÍO.







ANEXO B

MONITOREO RUTINARIO DE RADIACIÓN IONIZANTE UTILIZANDO UN GEIGER MULLER

Elaborado por:		Fecha de elaboración	Fecha de revisión / Actualización		Version 02
Marcos Frías, M.Sc.			APROBADO		
Revisado por:		Dra. Andrea Martínez / Ledo. Marco Maldonado		Aprobado por:	Dr. Mauricio Heredia
ZONAS DE MEDICION	FECHA Y HORA DE MEDICIÓN (UNIDAD μSv/h)				
	F: 24/08/2016 H: 7h 15	F: 24/08/2016 H: 13h 18	F: 25/08/16 H: 7h 05	F: 26/08/16 H: 14h 15	F: 26/08/16 H: 7h 15
ZONAS					
CUARTO CALIENTE	1,8; 3,8; 9,55	7,02; 4,5; 8,50	3,79; 4,10; 5,32	21,04; 1,03; 4,79	13,4; 7,04; 2,4
CUARTO DE INYECCIÓN	1,04; 1,63	1,37; 1,14	0,27; 0,25	0,83; 0,56	0,68; 6,6
S.S.H.H. PACIENTES	2,89	2,07	0,39	3,28	0,54
BODEGA DECAIMIENTO	148; 186	125; 48,7	56,6; 19,42	336,51; 528	184,9; 86,3
ZONAS					
GAMMA CÁMARA 1					
- SALA CONTROL	0,27	0,22	0,22	0,23	0,16
- SALA CAMARA	0,52	0,43	0,19	0,29	0,24
GAMMA CÁMARA 2 3					
- SALA CONTROL	0,21	0,27	0,57	0,24	
- SALA CAMARA	0,38	0,45	0,52	0,22	
BANDA DE ESFUERZO	0,34	0,23	0,18	0,14	0,18
PASILLO PRINCIPAL	1,21	0,84	0,25	0,54	0,55
OFICINAS/CONSULTO					
- OFICINA 1	0,42	0,21		0,32	
- SALA DE REUNIONES	0,25	0,23	0,17	0,23	0,23
- OFICINA FÍSICA	0,9	0,24	0,21	0,29	0,24
- BAÑO PERSONAL	0,42	6,01	0,26	0,35	0,22
- SECRETARIA	0,30	0,49	0,23	0,38	0,22
- JEFATURA	0,18	0,22	0,16	0,23	0,12
- INGRESO PRINCIPAL	0,41	0,48	0,15	0,39	0,27
OTROS/SALA DE ESPERA	2,55	0,28	1,10	0,67	0,62

OBSERVACIONES:
.....
.....

REALIZADO POR:.....

pág. 1
Renovar para actualizar.

10 de Septiembre del 2016
Teléfono 2011 200 300

Elaborado por:	Marcos Frias, M.Sc.	Revisado por:	Dra. Andrea Martinez / Marcos Frias, M.Sc.	Aprobado:
----------------	---------------------	---------------	--------------------------------------------	-----------

ZONAS DE MEDICIÓN	FECHA Y HORA DE MEDICIÓN (UN)			
	F: 26/08/16 H: 12h00	F: 29/08/16 H: 7h00	F:	F:
ZONAS CONTROLADAS				
CUARTO CALIENTE: (campana, piso, mesas, otros)	18	9,32	10,58	13,6
CUARTO DE INYECCIÓN: (piso, mesas, silla, otros)	1,3	1,8	0,43	0,30
BODEGA DECAIMIENTO: (Sala I-131, Sala Tc-99)	120,2	63,5	111	29,4
S.S.H.H. PACIENTES	0,94	0,32		
ZONAS SUPERVISADAS				
GAMMA CÁMARA 1				
- SALA CONTROL	0,40	0,21		
- SALA CAMARA	4,45	0,16		
GAMMA CÁMARA 2 3				
- SALA CONTROL	0,28	0,19		
- SALA CAMARA	0,19	0,20		
BANDA DE ESFUERZO	0,23	0,33		
PASILLO PRINCIPAL	0,48	0,31		
SALA DE ESPERA	0,52	0,36		
OFICINAS/CONSULTORIOS				
- OFICINA 1	0,41			
- SALA DE REUNIONES	0,31	0,23		
- OFICINA FÍSICA	0,41	0,22		
- BAÑO PERSONAL	0,45	0,36		
- SECRETARÍA	0,27	0,36		
- JEFATURA	0,24	0,21		
- INGRESO PRINCIPAL	0,35	0,39		
OTROS				

OBSERVACIONES:

REALIZADO POR: