



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOFÍSICA

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE ADSORCIÓN DE
RADÓN EN AIRE MEDIANTE FILTROS DE BASE DE
CARBÓN ACTIVO Y ÓXIDO DE GRAFENO A TRES
DIFERENTES PROPORCIONES.**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICA

AUTOR: LEIDY SOFÍA LECHÓN PÁEZ

DIRECTOR: Dr. FABIAN ERNESTO ARIAS ARIAS, PhD

Riobamba - Ecuador

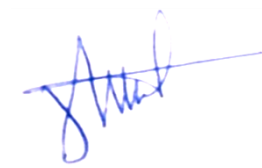
2020

© 2020, Leidy Sofía Lechón Páez

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

Yo, Leidy Sofía Lechón Páez soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. 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.

Riobamba 31 de agosto del 2020



Leidy Sofía Lechón Páez

CI: 100402926-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOFÍSICA

El Tribunal de Comisión de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Experimental, **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE ADSORCIÓN DE RADÓN EN AIRE MEDIANTE FILTROS DE BASE DE CARBÓN ACTIVADO Y ÓXIDO DE GRAFENO A TRES DIFERENTES PROPORCIONES**, de responsabilidad de la señorita **Leidy Sofía Lechón Páez**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros de Tribunal de trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, quedando autorizada su presentación.

Firma

Fecha

Dr. Richard Willians Pachacama Choca
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

RICHARD
WILLIAMS
PACHACAMA
CHOCA
Firmado digitalmente
por RICHARD WILLIAMS
PACHACAMA CHOCA
Fecha: 2020.11.11
06:49:12 -05'00'

2020-08-31

Dr. Fabian Ernesto Arias Arias, PhD
**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

FABIAN
ERNESTO
Firmado digitalmente por

2020-08-31

Ing. Gabriela Viviana Tubon Usca, PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

GABRIELA
VIVIANA TUBON
USCA
Firmado digitalmente por

2020-08-31

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia.

Quiero dedicar este trabajo de manera especial a mis padres, Marcelo y Viviana., quienes, con todo su amor, comprensión y apoyo, han sido mi pilar de vida para poder cumplir cada propósito, sueño, y anhelo. Hoy son partícipes principales en la culminación de mis estudios de pregrado. Gracias por siempre estar presentes, porque en medio de la distancia jamás me faltaron, gracias por enseñarme principios, valores y sobre todo la valentía de no temer a las adversidades. Son mi vida entera.

A mis hermanas Violeta, Ivonne, Marcelita y a mis sobrinos Pauleth, Elian y Dionel, por estar en cada momento de mi vida, por sus consejos, su apoyo y sobre todo su gran amor. Gracias familia.

A mis amigos Jessica, Irene, Evelin, Jeferson, Abigai y Paul, en ustedes encontré amistad sincera, gracias por acompañarme y apoyarme, por extender su mano en los momentos más difíciles, siempre serán muy especiales para mí.

Sofía

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la amistad, confianza, apoyo y dedicación de su tiempo a mis tutores y profesores Bioq. Fabian Arias. PhD, Ing. Gabriela Tubon, PhD, Biof. Talia Tene. PhD, y Biof. Cristian Vacacela. PhD.

A la ESPOCH y mis docentes de la carrera de Biofísica, que han sido fundamentales en mi proceso de formación personal y profesional. Agradezco sus valiosos consejos, las oportunidades brindadas y el inmenso apoyo para cumplir mis sueños.

Sofía

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	XIV
SUMMARY/ ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Antecedentes de la investigación	3
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Justificación del problema.....	5
1.4. Objetivos.....	6
<i>1.4.1. Objetivo General</i>	<i>6</i>
<i>1.4.2. Objetivos Específicos.....</i>	<i>6</i>
1.5. Marco Teórico.....	7
<i>1.5.1. Biomasa Lignocelulósica</i>	<i>7</i>
<i>1.5.2. Carbón.....</i>	<i>8</i>
<i>1.5.2.1. Carbón activado</i>	<i>9</i>
<i>1.5.2.2. Estructura y propiedades</i>	<i>10</i>
<i>1.5.2.3. Características fisicoquímicas del carbón activado.....</i>	<i>10</i>
<i>1.5.2.4. Clases de Carbón Activado.....</i>	<i>11</i>
<i>1.5.3. Obtención del CA</i>	<i>11</i>
<i>1.5.4. Coeficiente de adsorción del carbón activado (k).....</i>	<i>12</i>
<i>1.5.5. Factores que afectan sobre las propiedades de adsorción de radón de una corriente de gas que fluye hacia el carbón activado.</i>	<i>12</i>
<i>1.5.6. Filtro de carbón activado</i>	<i>13</i>
<i>1.5.7. Gas Radón</i>	<i>14</i>
<i>1.5.7.1. Afectación del gas radón en el ser humano.....</i>	<i>16</i>
<i>1.5.8. Método de la cámara cerrada</i>	<i>16</i>
<i>1.5.9. Grafeno</i>	<i>17</i>
<i>1.5.9.1. Óxido de Grafeno (GO)</i>	<i>18</i>
<i>1.5.10. Equipo RAD7</i>	<i>19</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1.	Caracterización del material lignocelulósico de plantas de tomate (<i>solanum lycopersicum</i>)	22
2.2.	Obtención del carbón activado	23
2.3.	Caracterización del carbón activado y óxido de grafeno	25
2.4.	Construcción de la cámara cerrada.....	27
2.5.	Medición de la concentración del fondo del laboratorio (C_{Bg}).....	28
2.6.	Cálculo de la tasa de fuga de la cámara (λ_L)	29
2.7.	Elaboración manual de los filtros de carbón activado	32
2.8.	Ensayos experimentales de irradiación de ^{222}Rn y el carbón activado.....	33
2.9.	Cálculo del coeficiente de adsorción del carbón activado	35
2.10.	Determinación del coeficiente de adsorción del óxido de grafeno.....	36

CAPITULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

38

3.1.	Pruebas de caracterización del material precursor (tomate riñón).....	38
3.1.1.	<i>Porcentaje de humedad (% H)</i>	38
3.1.2.	<i>Densidad aparente (g/cm^3)</i>	38
3.2.	Caracterización FT-IR y SEM del carbón activado y óxido de grafeno	38
3.2.1.	<i>Técnica FT-IR del Carbón Activado</i>	38
3.2.2.	<i>Análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM) del carbón activado</i>	39
3.2.3.	<i>Técnica FT-IR del óxido de grafeno</i>	40
3.2.4.	<i>Análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM) del óxido de grafeno</i>	41
3.3.	Coefficientes de adsorción del CA y OG.....	41

CONCLUSIONES.....43

RECOMENDACIONES.....45

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Fracción promedio de biomasa lignocelulósica.....	7
Tabla 2-1: Fuentes, categorías y tipos de biomasa lignocelulósica.....	8
Tabla 3-1: Tipos de materias primas para la obtención de carbón activado.....	11
Tabla 4-1: Características del carbón activado.....	13
Tabla 5-1: Precisión usual del RAD7 basada solo en las estadísticas de recuento.....	20
Tabla 6-1: Rangos de operación del RAD7.....	21
Tabla 1-2: Factores de caracterización del material lignocelulósico.....	22
Tabla 2-2: Resultados y variables del estudio experimental.....	37
Tabla 1-3: Resultados del porcentaje de humedad del material precursor.....	38
Tabla 2-3: Resultado de la densidad aparente del material precursor.....	38
Tabla 3-3: Grupos funcionales presentes en el FT-IR del carbón activado.....	39
Tabla 4-3: Resultados de la espectroscopía FT-IR del óxido de grafeno.....	41
Tabla 5-3: Comparación de coeficientes de adsorción del CA, OG y Zeolita.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Descripción general de la materia prima (naranja), tratamientos para la producción (azul) y aplicaciones (gris) de materiales carbonosos pirogénicos (PCM).....	9
Figura 2-1: El vapor de agua adsorbido en la superficie del carbón disminuye el coeficiente de adsorción dinámica.....	12
Figura 3-1: Vías para la migración de los radionucleidos liberados al medio ambiente.	14
Figura 4-1: Aplicaciones del grafeno.	17
Figura 5-1: Configuración experimental de las membranas de barrera para el.....	18
Figura 6-1: Hoja de óxido de grafeno.	19
Figura 1-2: Configuración esquemática de las pruebas de irradiación con CA.	34

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Contenido del ^{222}Rn en aire respecto a la altura.	15
Gráfico 2-1:	Porcentaje de las fuentes de exposición.	15
Gráfico 1-2:	Fondo natural del Laboratorio de Técnicas Nucleares.	29
Gráfico 2-2:	Gráfica de la concentración de actividad de radón (Bq/m^3) en función del tiempo (h).....	32
Gráfico 3-2:	Filtro colocado en la abertura de entrada de la tapa de la cámara.	33
Gráfico 4-2:	Dependencia temporal de la concentración de radón dentro de la cámara de vidrio sin carbón activado y con 10g de muestra de carbón activado dentro de la cámara.	36
Gráfico 1-3:	Espectro infrarrojo con transformadas de Fourier del carbón activado.	39
Gráfico 2-3:	Espectros FT-IR del óxido de grafeno.	40

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-2:	Secado del material orgánico previamente cortado.	23
Fotografía 2-2:	Peso del material orgánico que se utilizara para procesar el residuo de carbón.	23
Fotografía 3-2:	Reactor de pirólisis.	24
Fotografía 4-2:	Activación de activación del carbón activado.	24
Fotografía 5-2:	Secado final del carbón activado obtenido.	25
Fotografía 6-2:	Carbón activado obtenido de plantas de tomate riñón	25
Fotografía 7-2:	Análisis FT-IR del carbón activado.....	26
Fotografía 8-2:	Imagen del óxido de grafeno en el vidrio reloj recuperado, pasadas 24h de secado en un horno convencional.	27
Fotografía 9-2:	Construcción de la cámara cerrada.....	28
Fotografía 10-2:	Ensayo experimental del fondo del laboratorio.	29
Fotografía 11-2:	Ensayo experimental de la tasa de fuga de la cámara.	31
Fotografía 12-2:	Ensayos de irradiación con carbón activado.....	34
Fotografía 1-3:	Micrografía de la estructura del carbón activado mediante la técnica SEM, a) imagen CAx1,000 y b) imagen CAx100.....	40
Fotografía 2-3:	Micrografía de las “escamas” del óxido de grafeno usando el SEM, la imagen (x400) muestra la estructura del material posterior al proceso de obtención y secado.	41

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Bq/m³	Bequerelio por metro cúbico
λ_L	Tasa de fuga
C_{Bg}	Concentración del fondo del laboratorio
pCi/L	pico Curie por litro
²²²Rn	Radón
°C	Grados centígrados
RH	Humedad relativa
m³/kg	Metro cúbico por kilogramo
kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
m²/g	Metro cuadrado por gramo
cm³/s	Centímetro cúbico por segundo
cm²/s	Centímetro cuadrado por segundo
V	Voltio
kV	Kilovoltio
L	Litros
mL	mililitros
psi	Libra de fuerza por pulgada cuadrada
CA	Carbón activado
OG	Óxido de grafeno
RAD7	Detector de radón electrónico
DFT	Teoría del funcional de la densidad
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación
FT-IR	Espectrofotometría Infrarroja por Transformadas de Fourier
SEM	Microscopía Electrónica de Barrido

RESUMEN

El presente estudio consiste en evaluar la eficiencia de adsorción del ^{222}Rn mediante filtros de carbón activado y óxido de grafeno a diferentes proporciones. El carbón activado se elaboró a partir de residuos lignocelulósicos proveniente de la planta de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) mediante un sistema de pirolisis, para luego ser activado químicamente utilizando Cloruro de Zinc al 40%. Para caracterizar los materiales adsorbentes (CA y OG) se aplicó la técnica de espectroscopía de infrarrojo (FT-IR), la cual permitió caracterizar fisicoquímicamente los materiales evidenciando sus principales grupos funcionales. Además, se utilizó la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM) para observar de una manera cualitativa las características superficiales tanto del carbón activado como del óxido de grafeno, así como determinar el tamaño lateral y la porosidad el tamaño de partícula. La configuración experimental que permitió desarrollar los ensayos para adsorber ^{222}Rn en filtros que contienen carbón activado, consistió en un sistema cerrado que incluía una cámara de acrílico ($20 \times 20 \text{ cm}^2$), un mineral radiactivo natural (92% de ^{238}U), un disecante para absorber la humedad (CaSO_4), un conjunto de tuberías (vinilo), el soporte para filtro de tubo PVC, el material adsorbente y espectrómetro alfa (RAD7). Para la validación de la configuración experimental se llevó a cabo pruebas de tasa de fuga del sistema cerrado (cámara, tubos, RAD7) siendo $0,025 \text{ h}^{-1} \pm (0,12\%)$ y de concentración actividad de radón en el laboratorio ($23,36 \pm 7,52 \text{ Bq/m}^3$). Finalmente, se determina el coeficiente de adsorción del carbón activado que es $0,25 \text{ [m}^3/\text{kg]}$, mientras que el valor estimado para el óxido de grafeno es $6066 \text{ [m}^3/\text{kg]}$. El primer coeficiente reportado fue determinado mediante los ensayos experimentales detallados en la sección 3.10 y el segundo coeficiente se calculó a partir de datos obtenidos mediante una revisión bibliográfica.

Palabras clave: <RESIDUO LIGNOCELULÓSICO>, <TOMATE RIÑÓN (*Solanum lycopersicum*)>, <GAS RADÓN (^{222}Rn)>, <COEFICIENTE DE ADSORCIÓN>, <CARBÓN ACTIVADO>, <ÓXIDO DE GRAFENO>, <FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO>

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente
por LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Nombre de
reconocimiento (DN):
c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=06027669
74, cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Fecha: 2020.10.14
10:07:05 -05'00'



0380-DBRAI-UPT-2020

SUMMARY/ ABSTRACT

The current research consists on evaluating the adsorption efficiency of ^{222}Rn through activated coal filters and graphene oxide at different proportions. Activated coal was made using lignocellulosic waste from riñón tomato plant (*solanum lycopersicum*) through a pyrolysis system, so it can be chemically activated with the use of zinc chloride at 40%. For the characterization of adsorbent materials (CA and OG), it was necessary to apply the infrared spectroscopy technique (FT-IR), which allowed characterizing the materials in a physicochemical way, evidencing their main functional groups. In addition, the scanning electron microscopy (SEM) was used to observe the superficial characteristics of both, activated coal and graphene dioxide in a qualitative way, as well as determining the side size, porosity and particle size. The experimental configuration which allowed developing the trials to adsorb ^{222}Rn into filters containing activated coal consisted on a closed system including a ($20 \times 20 \text{cm}^2$) acrylic camera, a natural radioactive mineral (92% of ^{238}U), a desiccant to absorb humidity (CaSO_4), a set of pipes (vinyl), the PVC pipe filter holder, the adsorbent material and an alpha spectrometer (RAD7). For the validation of the experimental configuration, it was necessary to carry out leak rate tests in the closed system (camera, pipes, RAD7) resulting in $0,025 \text{ h}^{-1} \pm (0,12\%)$ as well as the radon concentration activity in the laboratory ($23,6 \pm 7,52 \text{ Bq/m}^3$). Finally, the activated coal adsorption coefficient is determined in $0,25 \text{ [m}^3/\text{Kg}]$ while the estimated value for the graphene oxide is $6066 \text{ [m}^3/\text{Kg}]$. The first coefficient reported was determined through the experimental trials detailed in section 3.10 and the second one was calculated from the data obtained through a bibliographic revision.

Key words: <LIGNOCELLULOSIC WASTE>, <RIÑÓN TOMATO (SOLANUM LYCOPERSICUM)>, <RADON GAS (^{222}Rn)>, <ADSORPTION COEFFICIENT>, <ACTIVATED COAL>, <GRAPHENE OXIDE>, <ACTIVATED COAL FILTER>.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, sobre todo en el último año, se ha proliferado la permanencia de las personas en los hogares, y, por lo tanto, existe un mayor riesgo de estar expuesto a contaminantes (es decir, compuestos orgánicos volátiles, amoníaco, radón, etc.), que se encuentran en interiores. Desde las últimas décadas, se ha observado un aumento significativo en los casos que informan muertes y problemas de salud debido a la contaminación por partículas y es que, a medida que las sociedades modernas se comprometen a mejorar la salud, la brecha entre los niveles de vida y la calidad de aire putrefacto debe ser minimizado con urgencia. Desde la década de 1990, se ha invertido un mayor interés en la investigación y desarrollo de técnicas de filtración que serían efectivas para mantener una calidad saludable del aire interior. (Samantara, Ratha, Raj, 2019)

Los métodos de remediación dependerán de la fuente de radón y las circunstancias de la casa, pero reducir el radón donde el material de construcción es la fuente llega a ser difícil y costoso en este caso. Por lo tanto, se sugiere concentrarse en la trampa de carbón para casas cuyo material es la fuente como una alternativa a la instalación de un sistema de ventilación.

En la última década, los nanomateriales se han convertido en un atractivo y eficaz método para aplicaciones en diferentes campos, de ahí la iniciativa de conjugar un nanomaterial con carbón activado. El grafeno ha atraído una enorme atención debido a sus propiedades intrigantes y sus amplias aplicaciones potenciales campos, como la nanotecnología, los conductores transparentes, los sensores, los materiales relacionados con la energía y las aplicaciones biomédicas. Es más resistente que el acero y tiene propiedades de tamizado únicas. Con solo un átomo de espesor, hay mucha menos pérdida de fricción de flujo a través del filtro de grafeno perforado en contraste con los filtros de plástico de poliamida que se han utilizado durante los últimos 50 años. (Samantara, Ratha, Raj, 2019)

En este trabajo se estudia el coeficiente de adsorción de radón en aire mediante filtros de base de carbón activado obtenido a partir de un material lignocelulósico mediante actividad química, y oxido de grafeno a tres diferentes proporciones.

Por lo tanto, el presente trabajo está dividido en cuatro capítulos. En el capítulo I se presentan generalidades que abordan temas como los antecedentes de estudios que refutan el trabajo, planteamiento del problema en donde se describe la situación y alcance que tendría este trabajo, y finalmente la justificación en donde se señala las bases científicas para resolver el problema presentado.

En el capítulo II, se enfatiza en temas como material lignocelulósico, el carbón activado y sus propiedades y características, se destaca la importancia de estudiar el gas radón y se presenta las afectaciones en la salud del ser humano que por exposición a este gas se puede presentar y se

menciona la aplicación del óxido de grafeno como un material eficaz para filtrado de gases. Finalmente, en el mismo capítulo, se describe el equipo RAD7 que será empleado para las pruebas experimentales del trabajo.

En el capítulo III, se enfoca en el desarrollo experimental del trabajo, comenzando por la obtención del carbón, para ello se utilizó el material lignocelulósico de la planta de tomate riñón, su producción se realizó en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, y mediante activación química se activó al carbón. Se detalla la elaboración de la cámara y el procedimiento utilizado para medir su tasa de fuga. Se describen los ensayos experimentales para determinar la eficiencia de adsorción del carbón activado a el gas radón mediante filtros realizados manualmente.

En el capítulo IV, se muestran los resultados y la discusión de los mismo, así como las conclusiones y recomendaciones dadas a futuros trabajos, y por último se presentan la literatura citada.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

En esta sección se presentan un compendio de trabajos de investigación relacionados con el tema de este estudio.

Se conoce por la literatura que la primera mención de la adsorción de radón por carbón activado fue por Rutherford en 1906, quien se sorprendió por la alta actividad que tenía el adsorbente para el radón, mientras que al mismo tiempo mostraba poca afinidad por el argón. Incluso Rutherford señaló algo adelantado a su época, que este efecto podría usarse para la mitigación del laboratorio por “emanación de radio”, conocido hoy como ^{222}Rn . Desde ese entonces, la adsorción de radón por carbón activado se ha considerado para muchas aplicaciones, incluyendo respiradores para exposiciones breves en ambientes con alto contenido de radón. (Gaul, Underhill, 2005)

F. O. López y A. C. Canoba en 2002, publicaron un estudio en el cual se determinó el coeficiente de adsorción de ^{222}Rn sobre carbón activado en donde se observó una notable disminución de este coeficiente con el aumento de la humedad relativa. Además, en este trabajo se propone un modelo que puede describir adecuadamente los fenómenos de adsorción y difusión del ^{222}Rn en el carbón activado, lo que significa que, el modelo se puede utilizar como una nueva herramienta para determinar la concentración de gas ^{222}Rn en el aire determinando la actividad adsorbida en el carbón activado.

En el 2014 I.Bikit, D.Mrdia, K.Bikit, entre otros, presentan su trabajo que tiene como finalidad aplicar la zolita natural en la adsorción de ^{222}Rn , para ello determinan el coeficiente de adsorción de cada material, las pruebas experimentales de irradiación y mitigación las realizan dentro de una cámara cerrada de vidrio (5,4L) y miden con espectroscopía gamma la cantidad de radón adsorbido por el material. Incluso, se determinó por otro ensayo el coeficiente de adsorción del carbón activado cuyo valor reportado es $\approx 3\text{m}^3/\text{kg}$, el cual es mayor en comparación con los coeficientes de adsorción obtenidos para zeolita ($0,038\text{m}^3/\text{kg}$ - $0,11\text{m}^3/\text{kg}$). Sus resultados sugieren que, con algunas restricciones la zeolita se podría usar para mediciones de radón y supresión de este en el aire de las viviendas, pues una ventaja a destacar de este material es la asequibilidad y amplia disponibilidad. (Bikit et al., 2014)

Aneeya K. Samantara, Satyajit Ratha y Sudarsan Raj en 2019 presentaron el trabajo titulado “*FUNCTIONALIZED GRAPHENE NANOCOMPOSITES IN AIR FILTRATION APPLICATIONS*” en el que dan a conocer el desarrollo de materiales macroscópicos basados en

grafeno de diversas formas 1-D, 2-D y 3-D, algunos de estos materiales preparados demostraron numerosos avances, especialmente los materiales 3-D que están recibiendo una atención significativa debido a sus excelentes propiedades intrínsecas en virtud del contenido de grafeno para la adsorción de moléculas orgánicas e inorgánicas. Asimismo, presentan una comparación con carbones activados convencionales y con el grafeno funcionalizado, en donde muestran resultados prometedores como adsorbente tanto para la fisisorción a baja temperatura como para la quimisorción a alta temperatura de H₂, CO₂, CH₄, etc. Las notables propiedades sinérgicas de las estructuras híbridas GO (Óxido de Grafeno) mostraron excelentes capacidades de almacenamiento de H₂ a temperatura ambiente y de adsorción de CH₄ y CO₂ a alta presión. En resumen, los materiales a base de grafeno permiten producir membranas las cuales son eficientes para la purificación de aire/agua, que, si bien se está realizando ampliamente en la ciencia, su producción para ensayos industriales está aún en camino. (Samantara et al., 2019)

En agosto del 2019 un estudio denominado “*Roll-to-roll graphene oxide radon barrier membranes*” que tuvo como propósito proporcionar una mejor comprensión del uso de materiales basados en grafeno para reducir el riesgo de gas radón cancerígeno en sitios de construcción y edificios residenciales para aplicaciones prácticas mediante un trabajo experimental y teórico. En los resultados se puede evidenciar que los materiales de grafeno preparados rollo a rollo exhibieron buenas propiedades de barrera tanto para el radón como para los gases ambientales, y los cálculos de DFT predijeron energías de alcance débiles en las superficies de óxido y barreras de energía de baja penetración de los nanoporos de grafeno para el radón. (Gong et al., 2019)

Recientemente este año se publicó el estudio titulado “*Radon gas hazard*”, que es un análisis exhaustivo del gas radón en el Reino Unido, en el cual manifiestan que el monitoreo y la remediación en los hogares donde existe la presencia de este contaminante natural no son tan efectivos en la actualidad ya que como se conoce los niveles de radón en el aire exterior, el aire interior, el aire del suelo y el agua subterránea pueden ser muy diferentes, y por el cambio climático y la creciente variabilidad meteorológica pueden influir aún más en las concentraciones anuales de radón en interiores y también en los factores de corrección estacionales. Por lo que, con el fin de mitigar este gas contaminante se deberían realizar trabajos de remediación para reducir su paso a las casas y lugares de trabajo y construir nuevos edificios con medidas preventivas. (Appleton et al., 2020)

1.2. Planteamiento del problema

Por innumerables evidencias científicas se ha podido determinar que la segunda causa de cáncer de pulmón después del tabaco es el radón, un 3% al 14% es debido a la exposición de este gas radiactivo de origen natural. Las diferentes fuentes que ocasionan altos niveles de este gas en una

casa; suelo y rocas debajo y alrededor de la vivienda, el material de construcción y el agua del hogar. (Connie Boox, 2010)

Los métodos de remediación dependerán de la fuente de radón y las circunstancias de la casa, pero reducir el radón en donde el material de construcción es la fuente, por tanto, llega a ser difícil y costoso en este caso. Por lo tanto, se sugiere concentrarse en la trampa de carbón para casas cuyo material es la fuente como una alternativa a la instalación de un sistema de ventilación. (Connie Boox, 2010)

1.3. Justificación del problema

La mayoría de los dispositivos de limpieza de aire industrial funcionan filtrando o adsorbiendo los contaminantes no deseados y están hechos principalmente de material de filtro de aire particulado de alta eficiencia y carbón activado, sin embargo, estos materiales de filtro requieren un lavado/reemplazo a intervalos reguladores debido al efecto de obstrucción que surge de la saturación de adsorción. Por lo tanto, se desea la síntesis de filtros de aire robustos con la estabilidad a largo plazo a través de un método rentable.

El carbón activado es un adsorbente que presenta un elevado y variado grado de porosidad, una considerable superficie interna y un cierto contenido de grupos químicos superficiales; estas características son las responsables de sus propiedades adsorbentes, empleadas en aplicaciones tanto en fase gaseosa como en fase líquida. Al ser un adsorbente muy versátil, por el tamaño y distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados para satisfacer las necesidades de purificación en fase gaseosa y líquida. (Moreno-Piraján et al., 2007)

Muchos de los esfuerzos de investigación recientes se están centrando en el desarrollo de tecnologías para la purificación del aire, una de los estudios que se ha venido promoviendo en los últimos años es la aplicación del el óxido de grafeno para descontaminar agua y el más reciente membranas para descontaminar aire, pues ya se ha demostrado su gran capacidad para filtrar nanopartículas pequeñas, moléculas orgánicas e incluso sales grandes, además de que, el OG tiene una ventaja potencial respecto al grafeno con respecto a su producción y en cuanto al costo del material, ya que el OG puede producirse por oxidación simple en los laboratorios.

Se ha informado que el desarrollo de aerogeles de grafeno ultraligeros que son altamente comprensibles tiene una porosidad tan alta como 99.7%-99.8%. Además, Haiyan Sun et al. han derivado aerogeles de carbón ultraligeros, macroscópicos, multiformes con densidad controlada a partir de láminas de grafeno gigantes y nervaduras de nanotubos de carbono. Por lo tanto, existen opciones viables para implementar en dispositivos purificadores de aire. (Samantara et al., 2019)

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de adsorción de radón en aire mediante filtros de base de carbón activado y oxido de grafeno a tres diferentes proporciones.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el residuo lignocelulósico proveniente de la industria agrícola (*solanum lycopersicum*).
- Obtener carbón activado a partir de residuos lignocelulósicos mediante pirólisis.
- Realizar la oxidación mediante procesos químicos del carbón activo obtenido.
- Caracterizar el material adsorbente en base a carbón activo y oxido de grafeno a diferentes proporciones.
- Elaboración y validación de la configuración experimental para determinar el cambio de concentración de radón en aire.
- Determinación del cociente de adsorción del material carbón activo y su optimización con oxido de grafeno.

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Biomasa Lignocelulósica

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de agricultura, del aserradero y de los residuos urbanos. (Cortes, 2011)

La biomasa se puede transformar en una amplia variedad de productos líquidos, sólidos o gaseosos importantes desde el punto de vista energético, industrial y agrícola. Esta materia tiene la ventaja de ser biodegradables y renovables, bajo este enfoque, su empleo como combustible representa una forma sostenible y amigable con el medio ambiente de aprovechamiento de la energía solar. (Abril, Navarro, 2012)

La biomasa lignocelulósica derivada de subproductos agrícolas ha demostrado ser un tipo prometedor de materia prima para producir carbón activado, debido a su disponibilidad y su precio bajo. Está constituida por componentes diferentes, que son celulosa, hemicelulosa, lignina, compuestos orgánicos e inorgánicos, que resultan cenizas posterior a la combustión de la materia. La lignina ha sido identificada como el componente principal de la biomasa y responsable del proceso de adsorción. (Nor et al., 2013)

Tabla 1-1: Fracción promedio de biomasa lignocelulósica.

Materia prima	Fracción de celulosa	Fracción de hemicelulosa	Fracción de lignina
Cultivos energéticos	0,366	0,161	0,219
Residuos de cosecha	0,380	0,320	0,170
Biomasa leñosa	0,437	0,283	0,243

Fuente: (Kaylen et al., 2000)

La biomasa a base de lignina es el recurso de carbón renovable más abundante en la tierra después de la celulosa, con una producción mundial de 40 a 50 millones de toneladas por año; es por esta razón que es una buena opción para usarse como precursor para producir carbón activado. El carbón activado con alta capacidad de adsorción se puede producir de numerosas fuentes de biomasa lignocelulósica, como la cascará de avellana, la cáscara de coco, cáscara de almendra de palma, las ciruelas, cáscara de arroz, madera, entre otros. (Nor et al., 2013)

Sectores industriales emplean el carbón activado de lignocelulósica en procesos químicos, refinación de petróleo, tratamiento de aguas residuales, tratamiento de contaminación del aire y adsorción de compuestos orgánicos volátiles (COV).

Tabla 2-1: Fuentes, categorías y tipos de biomasa lignocelulósica.

A. Industrias forestales	1. Residuos forestales	
	<ul style="list-style-type: none"> •Tocones •Copas •Ramas 	<ul style="list-style-type: none"> •Follaje •Cortezas
	2. Desechos industriales	
	<ul style="list-style-type: none"> •Aserrín •Bordes 	<ul style="list-style-type: none"> •Recorterías •Defectos
B. Industria de Celulosa y Papel y Tableros	1. Pulpas	
	<ul style="list-style-type: none"> •Pulpas Químicas •Pulpas Mecánicas, quimimecánicas y semiquímicas 	<ul style="list-style-type: none"> •Pulpa para disolver y absorbente
	2. Tableros	
	<ul style="list-style-type: none"> •Tableros de fibra •Tableros de partículas 	<ul style="list-style-type: none"> •Tableros prensados •Tableros MDF
	3. Cartones y moldeados	
	<ul style="list-style-type: none"> •Cajas corrugadas •Cartulinas •Cartones multicapa 	<ul style="list-style-type: none"> •Cartones y cartulinas estucadas •Moldeados de celulosa
	4. Papeles de imprenta y escribir	
	5. Papeles y cartones industriales	
	6. Licores residuales del pulpeo y fabricación de papel.	
	<ul style="list-style-type: none"> •Licores negros y efluentes de blanqueo 	<ul style="list-style-type: none"> •Fibras de rechazo •Residuales de papel.
C. Sector Urbano	1. Desechos sólidos locales	
	<ul style="list-style-type: none"> •Cajas, envases de Madera, pallet •Cartones, cajas de cartón y otros envases de papel y cartón •Papeles, libros y otros impresos •Papel de desechos de oficinas 	<ul style="list-style-type: none"> •Papeles desechables •Muebles de madera •Envases de alimentos •Desechos de instrumentos de madera

Fuente: (Abril, Navarro, 2012)

1.5.2. Carbón

Los romanos fueron quienes descubrieron que el carbón vegetal puede purificar el agua, a los humanos les tomó más de 3000 años optimizar el carbón para la eliminación de contaminantes específicos. En 1863, Smit observó que el carbón elimina el oxígeno del aire durante un período prolongado de más de un mes. Sin embargo, no todos los carbones tenían la misma capacidad, el carbón vegetal a base de huesos de animal tiene una mayor capacidad que los carbones a base de madera. (Hagemann et al., 2018)

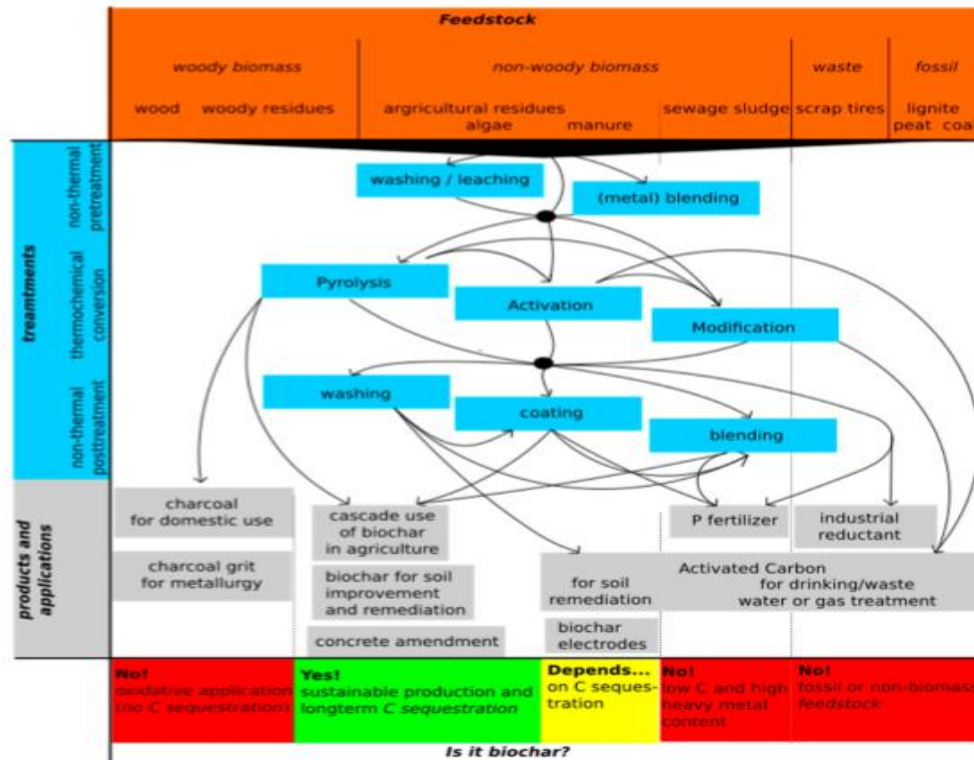


Figura 1-1: Descripción general de la materia prima (naranja), tratamientos para la producción (azul) y aplicaciones (gris) de materiales carbonosos pirogénicos (PCM).

Fuente: (Hagemann et al., 2018)

El carbón vegetal se utilizó y se continua hasta hoy empleando principalmente como combustible sin humo para cocinar, calentar, y producir acero. Puede considerarse el primer producto químico más antiguo. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), indica que en el 2015 se produjeron 50 millones de toneladas de carbón vegetal a nivel mundial, siendo tres veces más que en 1961. Se cree que el 25% de la madera cosechada a nivel mundial se utiliza para la producción de carbón vegetal, para la FAO estos datos son una incertidumbre. (Hagemann et al., 2018)

1.5.2.1. Carbón activado

Se denomina carbón activado a una serie de carbones porosos preparados artificialmente para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna, siendo estas características responsables de sus propiedades adsorbentes utilizadas en un sin número de aplicaciones tanto en fase gas como en líquida. (Chiclote - Gonzales, 2018)

Las primeras patentes para la activación del carbón se realizaron en la década de 1920, hasta ese entonces había poca base teórica que explicara las observaciones del aumento de las capacidades de sorción. Varios de los trabajos pioneros fueron en gran medida empíricos y se centraron en diferentes temperaturas de activación, pero carecerían de una hipótesis enfocada o un mecanismo.

En general, se suponía que el aumento de la sorción se debía al aumento de la superficie (y tal vez incluso a nuevos poros). Las alteraciones químicas y estructurales que conducen al aumento de las áreas superficiales y sus modificaciones siguen siendo los elementos clave de la activación en la actualidad. Otros rasgos secundarios importantes son: la resistencia mecánica, porosidad total, carga superficial y difusividad. (Hagemann et al., 2018)

1.5.2.2. Estructura y propiedades

El CA posee la capacidad de adherir o retener en su superficie uno o más componentes (átomos, moléculas, iones) cuando están en contacto con él, este fenómeno es conocido como poder adsorbente. Además, tiene una superficie específica (alrededor de 500 a 1500m² por gramo) con infinitas cantidades de poros muy finos que son los que adsorben componentes no deseados. Debido a temperaturas altas y la inyección de vapor del proceso de fabricación del carbón, es que este se activa y crea esa porosidad característica del material. (Chiclote - Gonzales, 2018)

Las propiedades adsorbentes de este material no solo están definidas por su estructura porosa, sino también por su naturaleza química. En su estructura presenta átomos de carbono con valencia insaturada, grupos funcionales (principalmente oxígeno) y componentes inorgánicos, todos estos con un efecto importante en los procesos de adsorción. Por su poca afinidad con el agua puede ser considerado hidrófobo, siendo esta propiedad importante en aplicaciones como la adsorción de gases en presencia de humedad, o de especies en disolución acuosa; pero por la presencia de los grupos funcionales en su superficie permite que interacciones con el agua, haciendo que su superficie sea más hidrófila. (Chiclote - Gonzales, 2018)

1.5.2.3. Características fisicoquímicas del carbón activado

- Composición química: se compone en un 75-80% en carbono y un 5-10% en cenizas, el CA designa un amplio espectro de materiales que se diferencian en estructura interna y en su granulometría.
- Estructura física: posee una estructura microcristalina en cierta medida semeja a la del grafito. Esta estructura da lugar a una distribución de tamaños de poro, los cuales se clasifican en tres según su tamaño:
 - Microporos: diámetro de poro menor de 2nm
 - Poros medios o mesoporos: diámetro de poro entre 2nm y 50nm
 - Macroporos: diámetro de poro mayor de 50nm

La distribución del tamaño de poro depende de los factores: origen de la materia prima, tipo de activación y duración del proceso de activación. Siendo responsable de la adsorción del carbón activado los microporos.

1.5.2.4. Clases de Carbón Activado

Según el tamaño de las partículas se pueden clasificar en:

- **Carbón granular:** presenta un tamaño de partícula entre 1mm y 5mm. Estos se dividen en dos categorías:
 - a) Carbón activado troceado: se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de trozos más grandes.
 - b) Carbón activado conformado: pueden obtenerse por extrusión de carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes.
- **Carbón pulverizado:** el tamaño de la partícula es menor a 100nm, los tamaños característicos oscilan entre 15nm y 25nm. (QUIROZ, JARAMILLO, 2015)

1.5.3. Obtención del CA

Para la obtención de carbón activado se emplean materiales orgánicos como: cáscaras de alimentos, madera, carbón mineral, brea y coques. La elección del material para la elaboración dependerá de la disponibilidad, precio, pureza, proceso de activación y su posterior aplicación. Esta activación se puede realizar de dos tipos: activación física (térmica) y activación química; la activación física se realiza mediante la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas y la activación química es generada por reacciones de deshidratación química que tiene lugar a temperaturas mucho más bajas. (Chiclote - Gonzales, 2018)

A continuación, se presenta una tabla en donde se muestra las principales materias primas y tecnologías de activación utilizadas en su producción, dureza y el tamaño del poro de los productos resultantes. La activación según: a) típicamente con ácido fosfórico y en ocasiones con cloruro de zinc y b) en atmósfera saturada de vapor de agua o con gases de combustión.

Tabla 3-1: Tipos de materias primas para la obtención de carbón activado.

Materia prima	Activación	Dureza o resistencia a la abrasión	Tamaño de poro
Madera de pino	Deshidratación química ^a	30-50	Macroporoso
Madera de pino	Térmica ^b	40-60	Mesoporoso
Carbón mineral bituminoso	Térmica ^b	70-80	Mesoporoso
Concha de coco	Térmica ^b	90-99	Microporoso

Fuente: (TAR, 2002)

Realizado por: Lechón, Leidy. 2020

1.5.4. Coeficiente de adsorción del carbón activado (k)

En los últimos años se ha trabajado mucho en la medición del radón por adsorción en carbón activado, aprovechando su bien conocida propiedad de adsorber diferentes gases. Conocer esta magnitud es extremadamente importante, ya que caracteriza la capacidad del carbón de adsorber gas ^{222}Rn . Un factor importante que interfiere en la adsorción de ^{222}Rn en el carbón activado es el vapor de agua. La cantidad de vapor de agua adsorbido es directamente proporcional a la humedad relativa, a temperatura constante. (López, Canoba, 2002)

El coeficiente de adsorción (k) de cada gas se reduce como consecuencia porque la humedad reduce efectivamente el número de sitios de adsorción disponibles. Otro factor importante para determinar k es la temperatura. Los efectos de temperatura y la humedad generalmente tienen una relación exponencial con la a temperatura ambiente. Además, se ha encontrado que k se comporta de manera consistente a temperaturas superiores a 0°C , aunque existen diferencias con respecto al tipo de carbón activado. Otros estudios indicaron que existen relaciones entre k y la temperatura ambiental y humedad relativa. (Zhou et al., 2018)

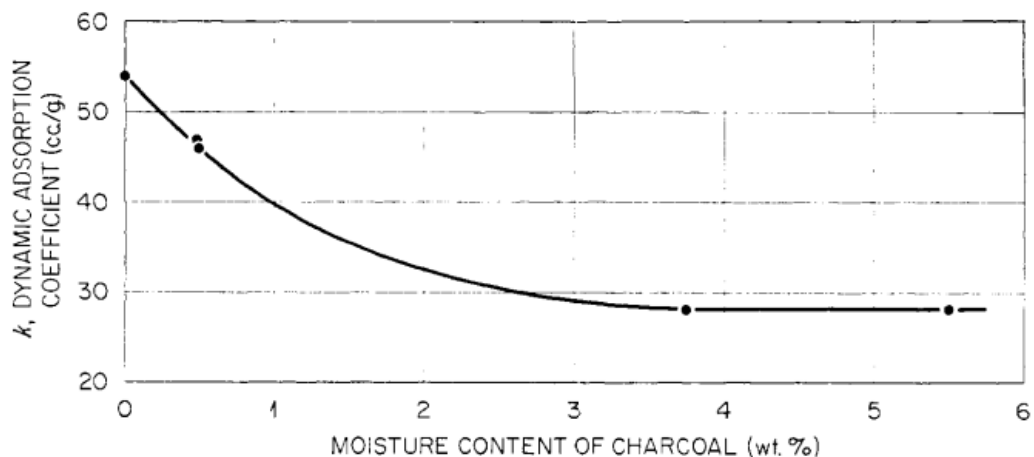


Figura 2-1: El vapor de agua adsorbido en la superficie del carbón disminuye el coeficiente de adsorción dinámica.

Fuente: (ADAMS et al., 1959)

1.5.5. Factores que afectan sobre las propiedades de adsorción de radón de una corriente de gas que fluye hacia el carbón activado.

Los factores incluyen: a) las propiedades del carbón utilizado, como la granularidad, el tipo de material y porosidad, b) la concentración de agua u otras moléculas competidoras en el gas, c) la velocidad del movimiento del gas a través del carbón vegetal, y d) la vida media del isótopo de radón que se está evaluando. (Coleman, 1999)

El proceso de adsorción permite que las moléculas de impurezas se adhieran a la superficie del carbón, lo cual da como resultado millones de poros microscópicos en esta superficie. Por ello los filtros de carbón activado elimina compuestos orgánicos volátiles, pesticidas y herbicidas, compuestos tribalometano, radón, los solventes, entre otros. (Chicote - Gonzales, 2018)

Tabla 4-1: Características del carbón activado.

Características	Descripción
Área superficial	La capacidad de adsorción es proporcional al área superficial (ella es función del grado de activación del carbón).
Tamaño del poro	La correcta distribución del tamaño de poros es necesaria para facilitar el proceso de adsorción (suministrando los sitios de adsorción, los 43 poros finos, y los canales de transporte adecuados para el manejo del adsorbato).
Tamaño de partículas	El tamaño de partículas no influye sobre el área superficial total. El área superficial total es definida por el grado de activación y por la estructura de los poros del carbón.
Temperatura	Las temperaturas bajas aumentan la capacidad de adsorción.
Concentración del adsorbato	La capacidad de adsorción es proporcional a la concentración del adsorbato (altas concentraciones proveen grandes fuerzas de empuje durante el proceso de adsorción).
pH	La capacidad de adsorción aumenta, con aquellas condiciones de pH que aumenta la solubilidad del adsorbato.
Tiempo de contacto	Para alcanzar el equilibrio en la adsorción y maximizar su eficiencia, se requiere de suficiente tiempo de contacto.
Densidad aparente	Es utilizada para indicar la actividad de un volumen de carbón. Esta es significativamente más baja que la densidad teórica del sólido (La actividad volumétrica es proporcional a la densidad aparente).

Realizado por: Lechón, Leidy. 2020

1.5.6. Filtro de carbón activado

La mayoría de las tecnologías de filtración de aire disponibles en el mercado implementan dos variedades de filtros de aire basados en la estructura y función del material del filtro. Estructuralmente, se pueden clasificar en dos tipos, el primero es el poroso (microporoso, mesoporoso y nanoporoso), y el segundo el fibroso tipo (microfibroso y nanofibroso). Entre los dos se prefieren los filtros fibrosos debido a su compleja estructura y eficiencia de filtración. (Samantara, Ratha, Raj, 2019)

Los filtros de CA son comúnmente utilizados en la purificación de agua y aire, para remediar sabores, olores y otros hidrocarburos del aire y de gases comprimidos y aplicaciones biomédicas. Un filtro de carbón activado se caracteriza por el poro del carbón activado y el tamaño de las partículas a filtrar que influyen en la vida útil y capacidad de filtración del filtro. (Chicote - Gonzales ,2018)

Con el amplio uso del CA se requiere mejorar las propiedades de adsorción. El recubrimiento del CA con material de origen biológico es un método nuevo para la modificación de las propiedades activadas del carbón, estos materiales son muy abundantes ambientalmente y se ha comprobado que el proceso es efectivo y no canceroso. (Padrón et al., 2013)

1.5.7. Gas Radón

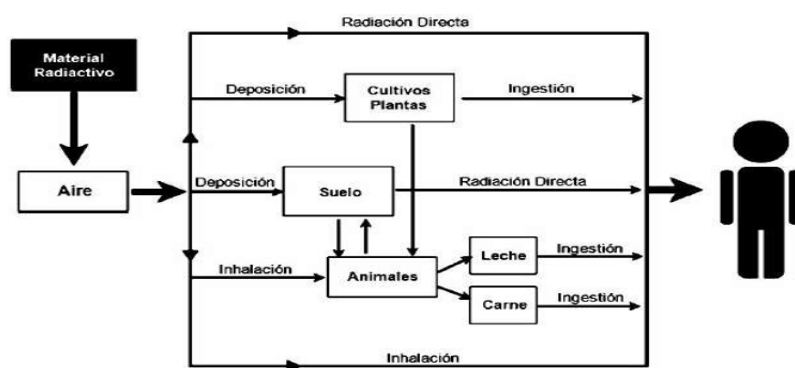


Figura 3-1: Vías para la migración de los radionucleidos liberados al medio ambiente.

Fuente: Pillaca, Jheferson.2019

En 1900, Frederic Dorn descubrió el elemento radón y lo llamó “*emanación del radio*”. Ransay y Gray lo llamaron nitón, aislaron el elemento y midieron su densidad, encontrándolo el gas más pesado (Ransay y Gray, 1910). A partir de 1923 se empezó a llamar radón a este elemento. Actualmente se conocen 16 isótopos del radón, 3 de ellos naturales y 13 han sido sintetizados en laboratorios.(Garzon, 2009)

El ^{222}Rn es el isótopo más abundante en la naturaleza y el primero en estudiarse. Se ha calculado que en el aire sobre la superficie del suelo el contenido de radón es en promedio 7.0×10^{-16} g/mL (0.1 pCi/L) y en la superficie de los océanos es en promedio de 2.0×10^{-17} g/mL (0.003pCi/L). Por tanto, a medida que aumenta la altura con respecto a la superficie del suelo, el radón en el aire va disminuyendo. (Garzon, 2009)

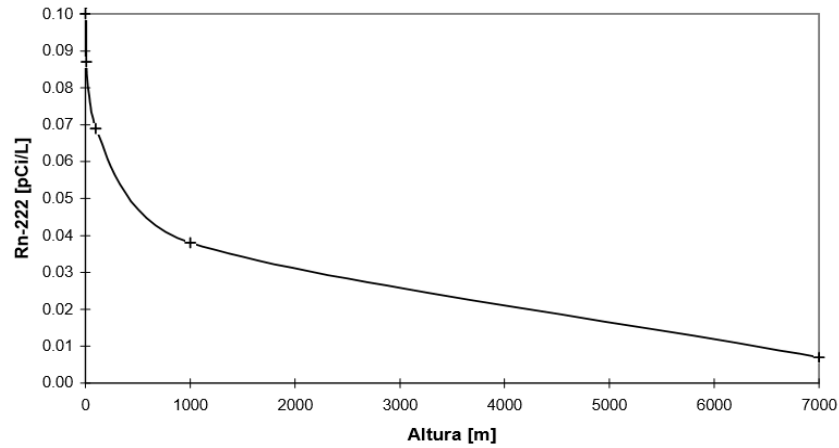


Gráfico 1-1: Contenido del ^{222}Rn en aire respecto a la altura.

Fuente: (Garzon, 2009)

Por su naturaleza gaseosa, se difunde fácilmente a través de varios medios, el coeficiente de difusión para el aire es $1 \times 10^{-1} \text{cm}^2/\text{s}$ y para el agua $1.13 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$, su mayor exposición ocurre por inhalación en recintos deficientemente ventilados. El hecho de que, pasemos gran parte de nuestro tiempo en interiores respirando aire con radón y descendientes influye de gran manera la importancia de estudiar a este material radiactivo desde varios aspectos. (Llerena, 2006) Las construcciones actuales han evolucionado siendo más estancos y con pocas filtraciones, provocando así, que aumente considerablemente la concentración de radón en ambientes interiores por la escasa ventilación.

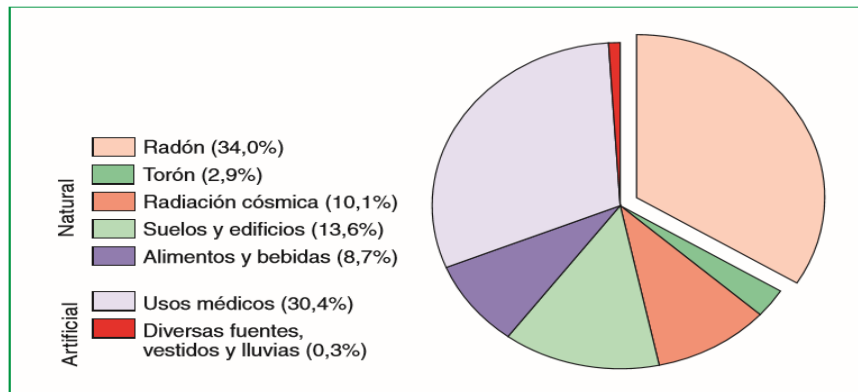


Gráfico 2-1: Porcentaje de las fuentes de exposición.

Fuente: (Antonio, Carrasco, 2007)

Según la Unión Europea, para concentraciones de radón en ambientes interiores, se recomienda que a niveles de $400 \text{Bq}/\text{m}^3$ se debe realizar remediación inmediata y para viviendas nuevas a partir de $200 \text{Bq}/\text{m}^3$. (Arteaga, Lliguin, 2015)

1.5.7.1. Afectación del gas radón en el ser humano

La mayor parte del radón que se inhala se exhala nuevamente antes de que tenga tiempo de descomponerse e irradiar tejidos en el tracto respiratorio. Sin embargo, el radón (^{222}Rn) se desintegra para formar partículas radioactivas sólidas muy pequeñas, que incluyen ^{218}Po , que se adhieren a las partículas de aerosoles y polvo naturales, generalmente a los pocos minutos de la formación. Los productos de descomposición adheridos pueden permanecer suspendidos en el aire o asentarse en superficies. Cuando se inhalan los productos de descomposición, una gran cantidad gran proporción de ellos se depositan en el tracto respiratorio e irradian el revestimiento de los bronquios en el pulmón con partículas alfa, lo que aumenta el riesgo de desarrollar cánceres del tracto respiratorio, especialmente de los pulmones.

El radón ingerido es adsorbido por la sangre, pero la mayor parte del radón se pierde rápidamente del torrente sanguíneo a través de los pulmones. Sin embargo, la dosis al estómago del radón ingerido puede ser significativa e implica un mayor riesgo de cáncer de estómago. (Appleton et al., 2020)

1.5.8. Método de la cámara cerrada

El método de la cámara cerrada presentada por (Chao et al., 1997), nos permite determinar una tasa de fuga más precisa si la variación de temperatura se puede mantener lo más baja posible. La cámara se recomienda sellar con silicona para evitar fugas y para los tubos conectados a la cámara se coloca vaselina en las intersecciones.

El detector extrae muestras de aire a través de un filtro de entrada fino hacia una cámara para su análisis. El aire filtrado se descompone dentro de la cámara, produciendo una progenie emisora alfa detectable, particularmente los isotopos de polonio. El nivel de radón de fondo dentro del laboratorio también es un parámetro para hacer una estimación precisa de la tasa de fuga, las características de emanación de radón y difusión posterior.

Como ninguna cámara puede garantizar fugas nulas, el gas radón de fondo puede ingresar a la cámara por medio de fugas o difusión a través de los pequeños espacios a lo largo de las intersecciones de la cámara.

El detector de estado sólido (RAD7) convierte la radiación directamente en una señal eléctrica utilizando una técnica de espectrometría alfa, que puede distinguir el radón del torón y la señal del ruido.

1.5.9. Grafeno

El grafeno se define como una fina lámina plana de átomos de carbono con hibridación sp^2 en dos dimensiones (2D), formando una estructura similar a un panel de abeja. Novoselov y Geim lo aislaron por primera vez en el año 2004, al pegar un trozo de celo sobre la superficie de un grafito, pero no fue hasta el año 2010 cuando el grafeno comenzó a generar interés científico posterior al otorgarse el Premio Nobel de Física que fue otorgado a sus descubridores. (Rodríguez, 2016)

Es un cristal bidimensional de espesor correspondiente a un solo átomo de carbono, lo que le confiere algunas de sus extraordinarias propiedades, entre las cuales cabe destacar:

- Es casi completamente transparente y tan denso, que ni siquiera el helio lo atraviesa.
- Es más duro que el diamante y 200 veces más resistente que el acero.
- Es igual de ligero y más flexible que las fibras de carbono.
- Es capaz de soportar la radiación ionizante.
- Tiene alta movilidad de portadores, así como un bajo nivel de ruido, lo que permite que sea utilizado como canal en transistores de campo.
- Tiene un gap de energía nulo lo que hace que este material se comporte simultáneamente como un metal y semiconductor.
- Puede reaccionar químicamente con otras sustancias para formar compuestos con diferentes propiedades. (García Martínez, 2013)

En este sentido, a continuación, se presentan algunas aplicaciones del grafeno:



Figura 4-1: Aplicaciones del grafeno.

Fuente: (García Martínez, 2013)

Uno de los usos más recientes de este versátil material es en la mitigación del gas ^{222}Rn en sitios de construcción y edificios residenciales. La gráfica 2-4 representa un esquema experimental del

estudio realizado por Gong et al. en 2019, en el que se detalla un trabajo práctico y teórico, cuyos resultados indican que los materiales de grafeno preparados rollo a rollo exhibieron buenas propiedades de barrera para el ^{222}Rn así como para los gases ambientales. (Gong et al., 2019)

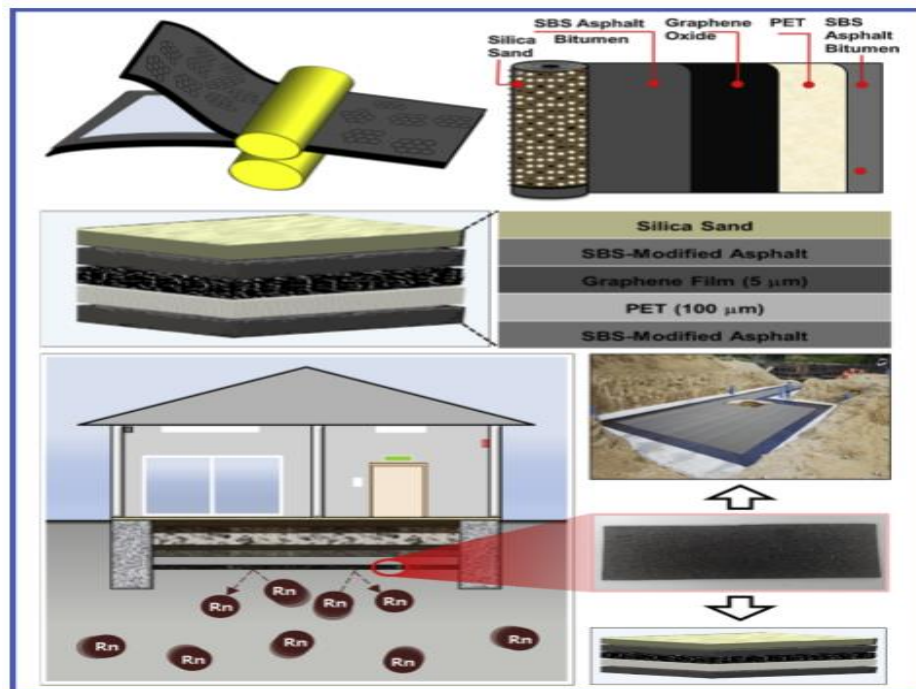


Figura 5-1: Configuración experimental de las membranas de barrera para el radón insertadas con óxido grafeno.

Fuente: (Gong et al., 2019)

1.5.9.1. Óxido de Grafeno (GO)

El GO es una lámina de grafeno fucionalizado con diferentes grupos oxigenados, que se puede emplear como precursor del grafeno, es aislante, higroscópico, con alto contenido en oxígeno y muy hidrofílico. (García Martínez, 2013)

Este material es bidimensional al igual que el grafeno con interesantes propiedades, algunas de estas se describen a continuación:

- Módulo de elasticidad: 23-42 Gpa
- Resistencia a la tracción: 0.13 Gpa
- Rotura de alargamiento: 0.6%
- Densidad: 1800 kg/m³
- Área de superficie: 700 – 1500 m²/g (Ávila, 2019)

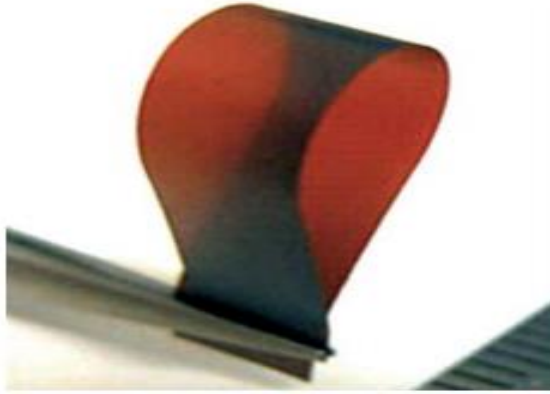


Figura 6-1: Hoja de óxido de grafeno.

Referencia: (Rodríguez González, Vasilievna Kharissova, 2008)

El óxido de grafeno empleado en este estudio fue otorgado por el Grupo de Física *Physics Research Group* de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, por parte de la docente Gabriela Tubon, PhD. El material cedido es una suspensión acuosa en un volumen de 10 mL a una concentración de 0,1 mg/mL. Esta solución, posteriormente se secó en el vidrio reloj para recuperar el sólido (1 mg), que se utilizará como material adsorbente.

1.5.10. Equipo RAD7

El RAD7 DURRINGE utiliza un detector alfa de estado sólido, el detector de estado sólido es un material semiconductor (usualmente de silicio), que convierte la radiación alfa directamente en una señal eléctrica, una ventaja de este dispositivo es la capacidad de determinar electrónicamente la energía de cada partícula alfa. Esta técnica es conocida como espectrometría alfa. (DURRIDGE Company, 2014)

Un parámetro importante es la radiación de fondo, debido al detector de gran calidad de partículas alfa y a el singular análisis de espectros en tiempo real, este parámetro de fondo del RAD7 es insignificamente pequeña, y el RAD7 es inmune a la acumulación del plomo-210, que afecta a otros instrumentos. Cabe señalar que este equipo no mide las concentraciones de los descendientes del radón (niveles de actividad), sino mide las concentraciones de gas radón. (DURRIDGE Company, 2014)

El detector RAD7 induce una circulación de aire estable a través del sistema a una caudal calibrado de $q = 11 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$. Este caudal es de aire inducido por el detector es lo suficientemente alto como para garantizar que el radón-torón se distribuya uniformemente tanto en el espacio lleno de aire en el soporte de la muestra como en la cámara de medición del detector. (Csige et al., 2013)

La celda interna para muestras del equipo es un hemisferio de 0,7litros, recubierta internamente con un conductor eléctrico, en el centro de este hemisferio hay un detector de partículas alfa de

silicio, aplanado, de iones implantados y de estado sólido. El circuito de alimentación de alta tensión carga el conductor interno, con un potencial de 2.000 a 2.500V, en relación con el detector, creando así un campo eléctrico en todo el volumen de la celda, este campo impulsa a las partículas cargadas positivamente a ubicarse sobre el detector, al cual se adhiere. El equipo amplifica, filtra y ordena las señales de acuerdo con su fuerza.

Es importante considerar la radiación de fondo intrínseca del equipo que puede añadir 0,01pCi/L a una medición usual, un valor que se halla muy por debajo de los espacios exteriores (usualmente 0,10 a 1,00pCi/L). DURRIDGE calibra los instrumentos con una precisión en la calibración de alrededor del 1%. Se estima que la exactitud total de la calibración del equipo es superior al 5%. Los factores ambientales y otros puede afectar la precisión un 2%. (DURRIDGE Company, 2014)

Tabla 5-1: Precisión usual del RAD7 basada solo en las estadísticas de recuento.

	1 pCi/L	4 pCi/L	20 pCi/L	100 pCi/L
1 hr	0.37 (37%)	0.73 (32%)	1.64 (8.2%)	3.65 (3.7%)
2 hr	0.26 (26%)	0.52 (13%)	1.15 (5.8%)	2.58 (2.6%)
6 hr	0.15 (15%)	0.30 (7.4%)	0.67 (3.4%)	1.49 (1.5%)
24 hr	0.07 (7.4%)	0.15 (3.8%)	0.33 (1.7%)	0.74 (0.7%)
48 hr	0.05 (5.3%)	0.10 (2.6%)	0.23 (1.2%)	0.53 (0.5%)
72 hr	0.04 (4.3%)	0.09 (2.1%)	0.19 (1.0%)	0.43 (0.4%)

Fuente: (DURRIDGE Company, 2014)

En Modo NORMAL con sensibilidad de 0,500cpm/pCi/L, los valores de la tabla tienen una incertidumbre de 2 sigma (o intervalos de confianza del 95%) en unidades de pCi/L (%).

Otras consideraciones que se debe señalar del equipo son las correcciones de humedad, con una temperatura ambiente normal y con un buen desecante en la trayectoria de la muestra de aire, la humedad de la cámara al comienzo de una medición descenderá rápidamente por debajo del 10% de humedad relativa y se asentará debajo del 6%. Por tanto, no requiere una corrección de humedad; si el desecante vence y/o la temperatura de operación sube muy por encima de la ambiental normal, la humedad absoluta puede tornarse significativa y puede ser necesario una corrección de humedad para compensar la caída de la sensibilidad. Si bien la humedad alta reduce la sensibilidad del RAD7, CAPTURE ofrecerá una corrección automática de los datos, haciendo que las lecturas regresen a valores cercanos a los secos.

Para disminuir la humedad del equipo (sin desperdiciar el desecante), la salida del RAD7 puede conectarse con el extremo abierto del tubo de secado, creando un circuito cerrado durante el ciclo de purga. Es recomendable después de detectar altas concentraciones de radón y/o torón, purgar el equipo inmediatamente después de terminar de usarlo.

Con respecto al desecante se debe tomar en cuenta el modo en el que se está midiendo con el equipo, para el modo NORMAL se utiliza el tubo grande de 2” de diámetro, el tubo alberga aproximadamente 500gramos de desecante drierite, el desecante puede adsorber al menos 10% de su peso en agua, por lo tanto, la capacidad de agua de la columna es de al menos 50gramos. La bomba del equipo desarrolla una velocidad del flujo de aproximadamente 1 litro por minuto.

El software CAPTURE del equipo permite simplificar la transferencia de datos desde el RAD7 hasta un ordenador, brinda una gran cantidad de opciones de análisis de datos representación gráfica y la posibilidad de exportar datos a otros programas para su revisión adicional. Además, CAPTURE es capaz de hacer un monitoreo de múltiples RADS7 remotos y locales simultáneamente en el registrador gráfico, mostrando detalles del estatus y trazando las concentraciones de radón en tiempo real a medida que se registran. (DURRIDGE Company, 2014)

Tabla 6-1: Rangos de operación del RAD7.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura	0°C (32°F)	40°C (104°F)
Humedad relativa, externa (No debe tener condensación)	0%	95%
Humedad relativa, interna	0%	10%
Voltaje de las baterías	6.00V	7.20V
Corriente de la bomba (bomba apagada)	0mA	10mA
Corriente de la bomba(bomba encendida)	30mA	90mA
Alto voltaje	2100V	2400V
Ciclo de trabajo de alto voltaje	8%	20%
Corriente de fuga (temperatura ambiente)	0mA	20mA
Corriente de fuga (temperatura máxima)	5mA	80mA
Nivel de voltaje de la señal	0.15V	0.30V

Fuente: (DURRIDGE Company, 2014)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Caracterización del material lignocelulósico de residuos de plantas de tomate (*solanum lycopersicum*)

En esta sección se analizan algunos factores que permitirán caracterizar al material:

Tabla 1-2: Factores de caracterización del material lignocelulósico.

<ul style="list-style-type: none">• Porcentaje de humedad <p><u>Metodología:</u> en tres crisoles (50 mL) etiquetados y tarados se coloca 1g del material y se pesa, se colocan en la estufa automática a 110 °C por 1 día, posterior se deja enfriar (Desecador) y se pesa.</p>	<p>Se obtiene a partir de la fórmula:</p> $\%Humedad = \frac{A - B}{A - C} \times 100 \quad (1)$ <p>Donde:</p> <p>A: peso crisol y la muestra húmeda (g) B: peso crisol y la muestra seca (g) C: peso crisol (g)</p>
<ul style="list-style-type: none">• Densidad aparente (g/cm^3) <p><u>Metodología:</u> en una probeta de 100 mL se coloca 50mL del material, se pesa la muestra y se resta el valor de humedad. Se realizaron varias pruebas y se calculó un promedio.</p>	<p>Se calcula mediante:</p> $Densidad\ Aparente = \frac{(Peso\ muestra\ en\ gramos) \cdot (100 - \%humedad)}{(Volumen\ muestra\ cm^3) \cdot 100} \quad (2)$

Fuente: (RODRÍGUEZ, 2020)

Realizado por: Lechón, Leidy, 2020

2.2. Obtención del carbón activado

El proceso de obtención del carbón activado se realizó a partir de la siguiente metodología:

1. Preparación de la muestra:

- a) Cortar y secar en la estufa automática los residuos del material lignocelulósico de las plantas de tomate riñón (*solanum lycopersicum*), a una temperatura de 280 °C durante 24 horas.



Fotografía 1-2: Secado del material orgánico previamente cortado.

Realizado por: Lechón, Leidy, 2020

- a) Triturar los restos de las plantas de tomate riñón y pesar aproximadamente la cantidad de 100 gramos del material.



Fotografía 2-2: Peso del material orgánico que se utilizara para procesar el residuo de carbón.

Realizado por: Lechón, Leidy, 2020

2. Carbonización:

- b) Procesar los 100,2782g pesados del material orgánico en el Reactor de Pirólisis del Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias – ESPOCH para el proceso de calcinación, estableciendo las siguientes condiciones una temperatura de 440 °C a 60 psi de presión durante 25-30 minutos. Este equipo cuenta con una cavidad.



Fotografía 3-2: Reactor de pirólisis.

Realizado por: Lechón, Leidy, 2020

3. Activación:

- c) La activación del carbón obtenido se realizó mediante una activación química, se mezcló 10g del material y una disolución del compuesto activador: Cloruro de Zinc al 40%, en una relación 4:1, se dejó en contacto durante 16 horas a temperatura ambiente. Transcurrido ese período se llevó a la estufa (110°C) para optimizar el proceso de impregnación.



Fotografía 4-2: Activación de activación del carbón activado.

Realizado por: Lechón, Leidy, 2020

d) Luego, el carbón fue retirado de la solución y aclarado tres veces con agua destilada a una temperatura de 80 °C durante cinco minutos utilizando una malla para el proceso de filtración, posteriormente se lleva a la estufa para el proceso de secado durante 24 horas a 110°C.

El producto final se muestra en la gráfica 3.1-6.



Fotografía 5-2: Secado final del carbón activado obtenido.

Realizado por: Lechón, Leidy, 2020



Fotografía 6-2: Carbón activado obtenido de plantas de tomate riñón

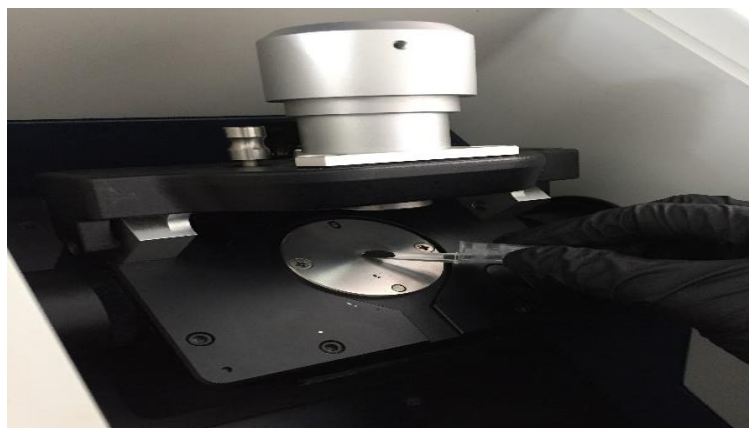
Realizado por: Lechón, Leidy, 2020

2.3. Caracterización del carbón activado y óxido de grafeno

El carbón activado y el óxido de grafeno fueron caracterizados según:

- **Pruebas FT-IR**

Para realizar las pruebas de caracterización en el Espectrofotómetro Infrarrojo por Transformadas de Fourier (JASCP FTIR-4100) se debe colocar una mínima porción (menos de 1g) del material (carbón activado u óxido de grafeno) en el compartimiento de la muestra, como se observa en la gráfica 3.1-7. Esta cantidad de material debe ser capaz de entrar en contacto directo el cristal de seleniuro de zinc y el capuchón.



Fotografía 7-2: Análisis FT-IR del carbón activado.

Realizado por: Lechón, Leidy, 2020

El espectro FT-IR del óxido de grafeno se realizó usando una suspensión acuosa de óxido de grafeno en una concentración de 0,1 mg/mL.

- **Análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM)**

La caracterización estructural se realizó en el Microscopio Electrónico de Barrido (JEOL JSM-IT100) que se encuentra en la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. Los análisis se realizan con una pequeña porción de la muestra la cual se coloca en la cinta adherente, es importante que la muestra no contenga humedad (seca) y que sea conductora.

En el caso del carbón activado se ajustó un aumento entre 300x-1000x de intensificación y un voltaje de 20 kV para la visualización de las imágenes. Si bien el carbón no es conductor, se pudo realizar por medio del método por criofijación que es parte del microscopio, la metodología sugiere recubrir la muestra con un material granular conductor fino (Pt) que permite la conducción, es decir, la observación con el equipo. (RODRÍGUEZ, 2020)

Para analizar el óxido de grafeno mediante la técnica SEM se partió de la suspensión coloidal del óxido de grafeno puesta a secar en el vidrio reloj durante 24 horas a una temperatura de 50 °C, posteriormente, se recuperó el material formado por finas capas o “escamas” y puestas sobre un staff de aluminio para su proceso de criofijación con una capa de oro.



Fotografía 8-2: Imagen del óxido de grafeno en el vidrio reloj recuperado, pasadas 24h de secado en un horno convencional.

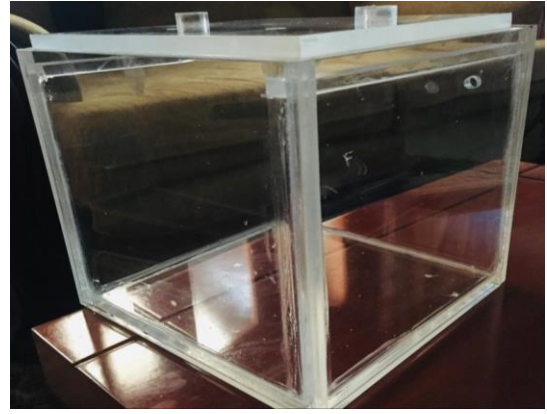
Realizado por: Lechón, Leidy, 2020

2.4. Construcción de la cámara cerrada

La cámara cerrada que se emplea en la configuración experimental es un contenedor en forma de cubo de acrílico. Para la elaboración de la cámara se utilizó seis láminas de 20x20cm² de acrílico, aprovechando la hermeticidad de este material y con un grosor de 0.9mm. En el proceso de construcción, específicamente para realizar el corte de las láminas se empleó un cortador láser, las piezas se unieron y sellaron con cianoacrilato y resina de poliéster, finalmente se colocó silicona en las aristas de la cámara.

La cámara tiene un volumen de 8 L, en una lámina lateral de la cámara existe un agujero circular de 1 cm de diámetro y en la lámina extraíble de la base superior (tapa) de la cámara constan dos agujeros de 1cm de diámetro cada uno, y en ellos se soldaron tubos enroscados de acero inoxidable. Estos tubos sirven para conectar las mangueras directamente al disecante y al equipo RAD7.

Este sistema cerrado tiene como finalidad evitar fugas del material radiactivo, en este caso el radón; que se encuentre en equilibrio gravitatorio e isotérmico, y finalmente que este material se transfiera y fluya por el sistema mediante la difusión y descomposición radiactiva.



Fotografía 9-2: Construcción de la cámara cerrada.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

2.5. Medición de la concentración del fondo del laboratorio (C_{Bg})

Para medir el fondo del laboratorio de Técnicas Nucleares se utilizó el equipo RAD7, este equipo es un dispositivo sofisticado, con precisión electrónica, que no está sellado herméticamente, que cuenta con baterías que son de tecnología de plomo-ácido y que utilizándolas cuidadosamente durarán cinco años o más. El RAD7 puede almacenar hasta 999 ciclos de datos. Si el indicador de la memoria libre para datos llega a 000, cualquier intento posterior de almacenamiento de datos en la memoria se traducirá en un error de “memoria llena”.

Para determinar la concentración del fondo del laboratorio se realizó un ensayo de siete días, y con ello se determinó un promedio de $23,36 \pm 7,52 \text{ Bq/m}^3$.



Fotografía 10-2: Ensayo experimental del fondo del laboratorio.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

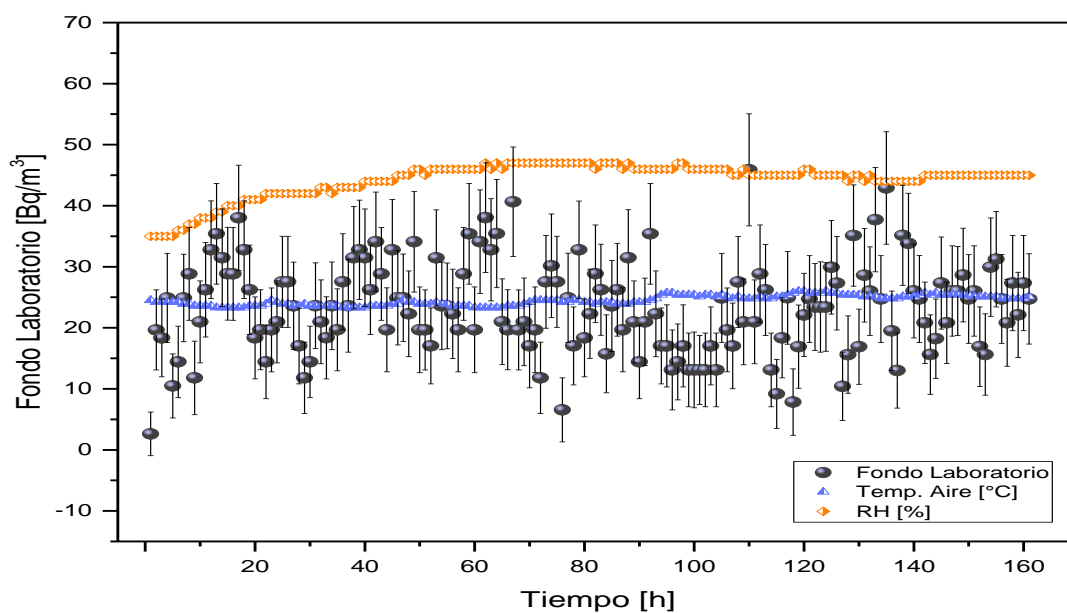


Gráfico 1-2: Fondo natural del Laboratorio de Técnicas Nucleares.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

2.6. Cálculo de la tasa de fuga de la cámara (λ_L)

La tasa de fuga es un parámetro fundamental para caracterizar el rendimiento y la hermeticidad de la cámara cerrada, (Chao et al., 1997) en su trabajo menciona que, si la cámara está vacía (sin la muestra) y el radón en el aire dentro de la cámara sufre descomposición natural con respecto a la concentración inicial, C , la ecuación dinámica se puede escribir como:

$$\frac{dC_{Rn}}{dt} = -\lambda_{Rn}C_i + \lambda_L C_{Bg} - \lambda_L C_{Rn} \quad (3)$$

Resolviendo la ecuación (3), obtendremos la concentración de radón de la cámara:

$$C_{Rn} = \left(C_i - \frac{\lambda_L C_{Bg}}{\lambda_{Rn} + \lambda_L} \right) e^{-\lambda_{eff}t} + \frac{\lambda_L C_{Bg}}{\lambda_{Rn} + \lambda_L} \quad (4)$$

Como $t \rightarrow 0$, $C_{Rn}(0) \rightarrow C_i$, siendo C_i la concentración inicial dentro de la cámara de acumulación, entonces:

$$\frac{dC_{Rn}}{dt_{(t \rightarrow 0)}} = M_L = - \left(C_i - \frac{\lambda_L C_{Bg}}{\lambda_{Rn} + \lambda_L} \right) (\lambda_{Rn} + \lambda_L) \quad (5)$$

$$M_L = -\lambda_L C_i - \lambda_{Rn} C_i + \lambda_L C_{Bg} \quad (6)$$

Siendo M_L , la pendiente inicial experimental de la curva de decaimiento incluyendo la tasa de fuga λ_L de la cámara.

En un caso ideal, donde la cámara tenga una tasa de fuga igual a cero, la concentración de radón se expresa como:

$$C_{Rn}(t) = C_i e^{-\lambda_{Rn}t} \quad (7)$$

$$\frac{dC_{Rn}(t)}{dt_{(t \rightarrow 0)}} = M_f = -\lambda_{Rn} C_i \quad (8)$$

Donde M_f , es la pendiente inicial teórica de la curva de decaimiento ideal.

Entonces, para encontrar la tasa de fuga relacionamos la ecuación (6) y (8):

$$M_f - M_L = (C_i - C_{Bg})\lambda_L \quad (9)$$

$$\lambda_L = \frac{M_f - M_L}{(C_i - C_{Bg})} \quad (10)$$

De manera que, para determinar la tasa de fuga se debe calcular la pendiente inicial teórica y experimental, la concentración inicial de radón dentro de la cámara y el fondo del Laboratorio.

La tasa de fuga de la cámara se determinó mediante una prueba experimental, consistió en montar un circuito cerrado con la cámara de acrílico, el equipo RAD7 y su disecante, y el mineral radiactivo natural colocado en un frasco de vidrio.

Se colocó la muestra en la cámara, para ello se consideró medidas de seguridad y el uso del equipo de protección radiológica (chaleco, guantes, gafas y protector de tiroides plomados, mascarilla y gorro). Una vez el material se encuentre dentro de la cámara, se procede a colocar rápidamente la tapa y a sellar los bordes de la cámara con plastilina industrial y con plástico alrededor de ella.



Fotografía 11-2: Ensayo experimental de la tasa de fuga de la cámara.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

Trascurrido varios días hasta que sature la muestra dentro de la cámara, se procedió a retirar el material precautelando la seguridad y finalmente se colocó rápidamente la tapa, el radón acumulado dentro de la cámara se irá descomponiendo naturalmente, este ensayo se realizó en 23 días.

Con el fin de precautelar la seguridad radiológica dentro del laboratorio y por medidas de protección radiológica, se colocó un equipo Gamma Scout calibrado en la parte posterior de la cámara de acrílico como se muestra en la gráfica 11-2. Cabe señalar que la dosis de radiación detectada y posteriormente analizada no implica ningún riesgo en la seguridad radiológica del personal que trabaja en el laboratorio.

Mediante los parámetros ya obtenidos y empleando la ecuación (10) se calculó la tasa de fuga de la cámara de acrílico, ver gráfico 2-2.

ESTIMACION DE LA TASA DE FUGA DE LA CAMARA

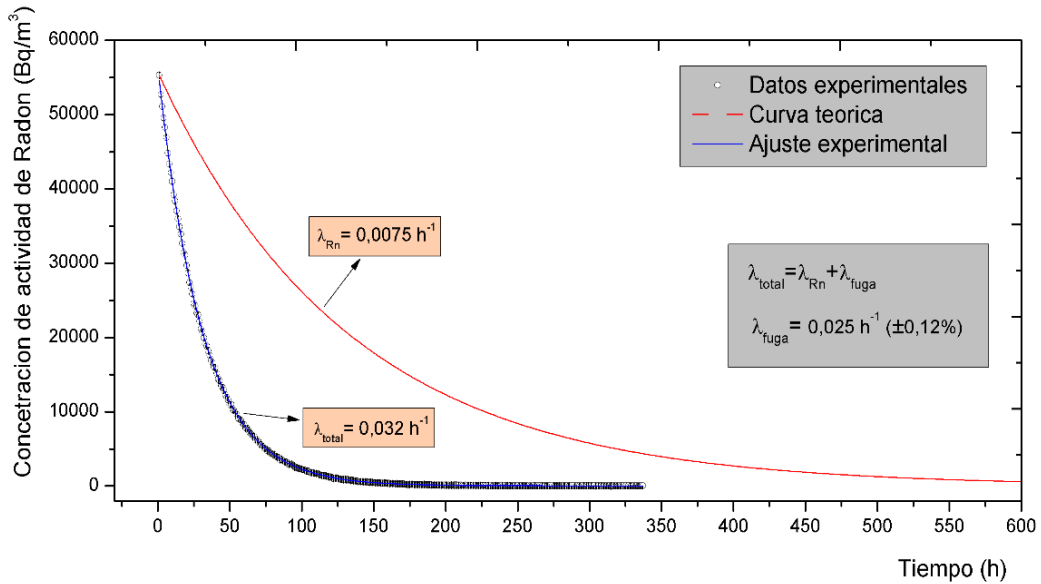


Gráfico 2-2: Gráfica de la concentración de actividad de radón (Bq/m³) en función del tiempo (h).

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

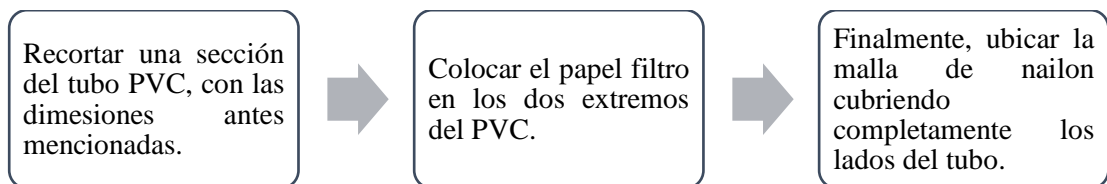
2.7. Elaboración manual de los filtros de carbón activado

Para este trabajo se diseñaron tres filtros de estructuras cilíndricas, compuesto de los siguientes materiales:

- Tubo PVC
- Malla de tela filtrante de nylon
- Carbón activado
- Papel filtro cualitativo

Se consideraron las siguientes dimensiones para el filtro: un espesor de 3 mm, una altura de 5 cm, diámetro externo 2,5 cm y diámetro interno 1,9 cm, en el interior se encuentra el carbón activado.

El proceso de elaboración del filtro consistió en:



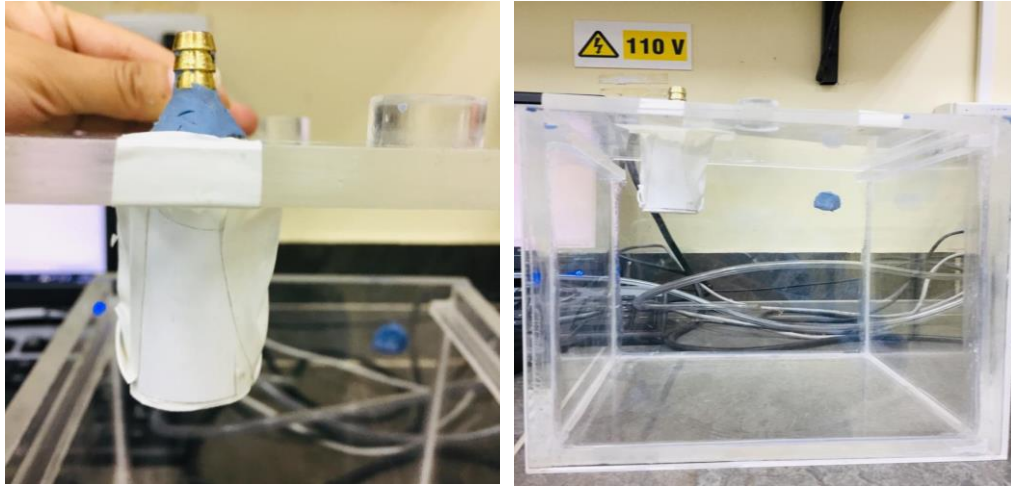


Gráfico 3-2: Filtro colocado en la abertura de entrada de la tapa de la cámara.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

El área del filtro se determinó utilizando la siguiente fórmula, (LARA, ROMERO, 2018):

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (11)$$

A partir de esta fórmula tenemos:

$$A = \frac{\pi(2.5)^2}{4} = 4,91 \text{ cm}^2 \quad (12)$$

Y el volumen del filtro es:

$$V = 10,36 \text{ cm}^3 \quad (13)$$

2.8. Ensayos experimentales de irradiación de ^{222}Rn y el carbón activado

Las mediciones de adsorción de radón se realizaron con muestras pulverizadas del carbón activado, las muestras se colocaron en el filtro dentro de la cámara de acrílico como se muestra en el gráfico 3-3. Los filtros son ubicados posterior al retiro del mineral radiactivo natural (92% de ^{238}U), este material permitió la acumulación de gas antes del proceso de adsorción. La cámara es cerrada inmediatamente para evitar cambios en el contenido de humedad y temperatura, y potencialmente más importante, la pérdida de radón adsorbido por el carbón activado.

Las muestras de carbón activado se exponen a una cantidad de radón acumulado dentro de la cámara durante ≈ 30 minutos por cada muestra, los cambios de concentraciones de radón dentro de la cámara a lo largo del tiempo se midieron continuamente por el equipo RAD7. La circulación

de aire a una velocidad de 1 L/min se proporciona a través de la bomba que es componente integral del equipo, sin mezclar el aire dentro de la cámara con el aire exterior. La temperatura del aire y la humedad relativa se midieron por dispositivos que son partes integrales del espectrómetro alfa.

La absorción de humedad se da haciendo pasar el aire por la columna de desecante. (Bikit et al., 2014)



Fotografía 12-2: Ensayos de irradiación con carbón activado.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

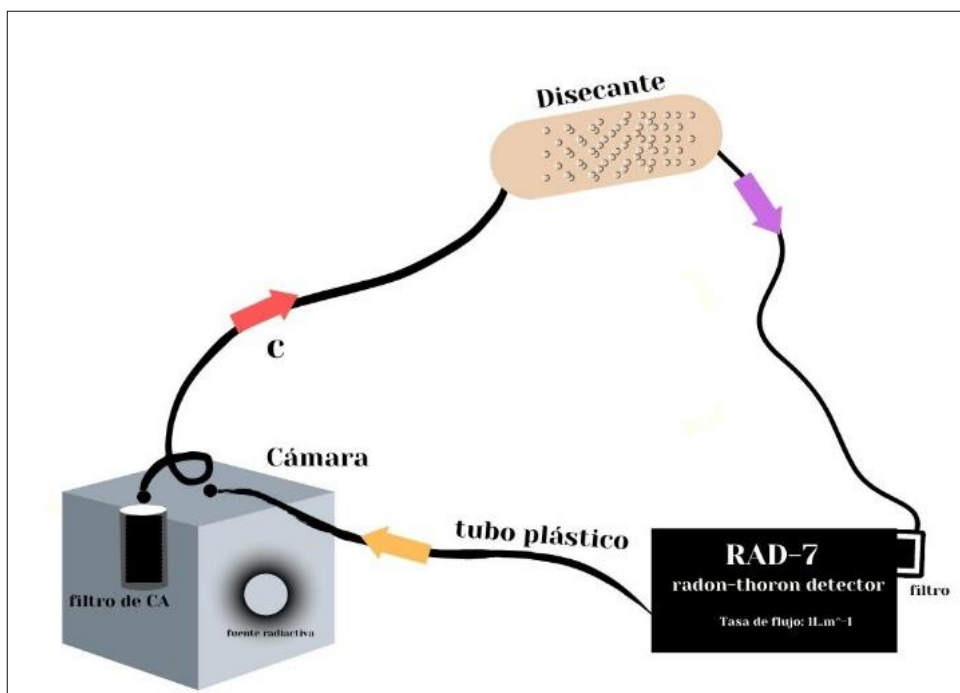


Figura 1-2: Configuración esquemática de las pruebas de irradiación con CA.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

2.9. Cálculo del coeficiente de adsorción del carbón activado

La configuración experimental proporciona la posibilidad de estimar la adsorción de gas ^{222}Rn en carbón activado. Este coeficiente, k (m^3/kg), caracteriza la capacidad que tiene el material sorbente en la adsorción de radón.

De acuerdo con el modelo “Height Equivalent to the Theoretical Plate” (Littlewood, 1970), el coeficiente de adsorción k (L/g) puede ser estimado a partir de los valores obtenidos experimentalmente del tiempo de avance τ (min), la velocidad del flujo de aire φ (L/min) y la masa del carbón m (g), de acuerdo con:

$$k = \frac{\tau\varphi}{m} \quad (16)$$

El tiempo penetración τ (min) se definió como el tiempo en que se alcanza el 50% de la concentración de saturación de radón. El volumen de aire a través del lecho de adsorción dentro del tiempo de ruptura τ (min) se denominó volumen de ruptura $V_{1/2}$ (L), y se puede calcular midiendo el tiempo de ruptura τ (min), el caudal de aire φ (L/min) desde:

$$V_{1/2} = \tau\varphi \quad (17)$$

Por lo tanto, sobre la base de la ecuación (16) y (17), el coeficiente de adsorción de radón k del carbón activado se puede expresar como:

$$k = \frac{V_{1/2}}{m} \quad (18)$$

La configuración experimental representada en la figura 1-2 permite determinar la adsorción de gas ^{222}Rn en carbón activado. En nuestro caso, la temperatura del aire dentro de la cámara de acrílico era 28 ± 1 [$^{\circ}\text{C}$], mientras que la humedad relativa fue aproximadamente de 40 ± 1 [%].

La gráfica 3-4 representa la variación de concentración de gas ^{222}Rn durante los ensayos experimentales, se observa la concentración de actividad dentro de la cámara sin el filtro de carbón activado y con los 10g del material.

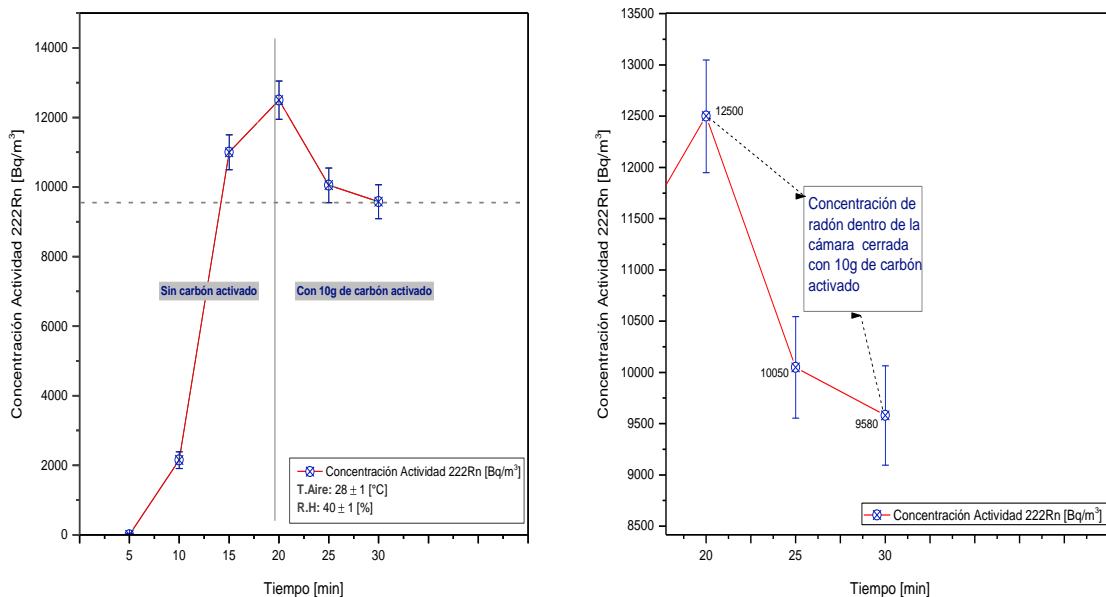


Gráfico 4-2: Dependencia temporal de la concentración de radón dentro de la cámara de vidrio sin carbón activado y con 10g de muestra de carbón activado dentro de la cámara.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

2.10. Determinación del coeficiente de adsorción del óxido de grafeno.

Para determinar el coeficiente de adsorción del óxido de grafeno se realizó una revisión bibliográfica que permita encontrar un coeficiente que pueda ser comparado con el obtenido del carbón activado, con el fin de evaluar la eficiencia de utilizar estos materiales como medio de mitigación del gas radón ^{222}Rn en aire.

Al ser un tema nuevo en investigación, no se cuenta con varios estudios al respecto. El trabajo más reciente presentado por (Gong et al., 2019), nos permite justificar la aplicación del óxido de grafeno como un medio apto para la mitigación de este gas radiactivo. Este estudio presenta un análisis experimental y teórico (DFT). Los cálculos teóricos predijeron energías de enlace débiles en las superficies de óxido y barreras de energía de baja penetración de los nanoporos de óxido de grafeno para el radón. Los resultados demuestran que las membranas del OG exhibieron buenas propiedades de barrera, reduciendo la concentración del radón en un 81,9% en dos pruebas realizadas.

Con este trabajo buscan proporcionar una mejor comprensión del uso de materiales basados en grafeno para reducir el riesgo de gas radón en sitios de construcción y edificios residenciales.

Es importante mencionar que las barreras de radón fueron caracterizadas por la Universidad Técnica de Checa (Praga, República Checa), estas barreras tenían 160mm de diámetro con un

espesor de 2,42mm. Además, el coeficiente de difusión de radón para este estudio se midió de acuerdo con el método acreditado K124/02/95 (método C de ISO/TS 11665-13).

De este estudio se detallan las siguientes variables:

Tabla 2-1: Resultados y variables del estudio experimental.

Concentración inicial [MBq/m³]	47,7 ± 0,6
Coefficiente de difusión PET-OG [m²/s]	2,2x10 ⁻¹²
Longitud de difusión del Rn [m]	1,02x10 ⁻³
T. Aire [°C]	21 ± 2
R.H [%]	38 ± 4
Tiempo de saturación del OG [h]	500
Masa del OG [kg]	7,7x10 ⁻⁵

Fuente: (Gong et al., 2019)

El coeficiente de difusión molecular del radón que está definido por la primera Ley de Fick, la cual establece que la densidad de flujo de radón es linealmente proporcional a su gradiente de concentración:

$$f = -D_M \nabla C \quad (19)$$

Donde:

f : es la densidad de flujo del radón [Bq/m²s]

D_M : es el coeficiente de difusión molecular [m²/s]

∇C : es el gradiente de concentración de actividad de radón [Bq/m⁴] (Ishimori et al., 2013)

El coeficiente de adsorción k [m³/kg] caracteriza la capacidad que el material sorbente, en este caso el OG, tiene para adsorber el radón y se puede determinar de la siguiente:

$$k = Q/C \quad (20)$$

En este caso el coeficiente se puede obtener por las variables Q [Bq/kg] que es la actividad del radón adsorbido por unidad de masa del material y C [Bq/m³] que es la concentración de ²²²Rn en el aire durante la exposición del material sorbente (Bikit et al., 2014). Para el caso del OG la variable Q se obtendrá a partir de la ecuación (19) y C se determina a partir de la concentración inicial y su % de reducción del radón por el material.

CAPITULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Pruebas de caracterización del material precursor (tomate riñón)

3.1.1. Porcentaje de humedad (% H)

Mediante la ecuación (1) se obtiene los resultados del porcentaje de humedad del material y los resultados se expresan a continuación:

Tabla 1-3: Resultados del porcentaje de humedad del material precursor.

Material precursor (plantas de tomate riñón)		
Masa (g)	A (crisol y muestra húmeda)	26,7023
	B (crisol y muestra seca)	26,3133
	C (crisol)	25,6312
Humedad (%)		36,32

Realizado por: Lechón, Leidy, 2020

Condiciones: temperatura [°C]= 110 y tiempo [h]=24

3.1.2. Densidad aparente (g/cm³)

Mediante la ecuación (2) se calcula la densidad aparente del material precursor y se obtiene:

Tabla 2-3: Resultado de la densidad aparente del material precursor.

Material precursor (plantas de tomate riñón)	
Humedad (%)	36,317
Masa (g)	15,223
Volumen (cm³)	50
Densidad aparente (g/cm³)	0,193

Realizado por: Lechón, Leidy, 2020

3.2. Caracterización FT-IR y SEM del carbón activado y óxido de grafeno

3.2.1. Técnica FT-IR del Carbón Activado

En el análisis espectral infrarrojo (FT-IR) a través de transformadas de Fourier obtenido del carbón activado, de los extractos salinos se observa espectros a un número de onda de 3328 ± 30 cm⁻¹ el cual indica la presencia de grupos hidroxilos en la muestra, en 2921,20 cm⁻² se debe a las vibraciones de estiramiento C-H de los grupos metilo y metileno, 2359,15 cm⁻¹ es indicativo de la presencia del grupo amino, se presenta una banda fuerte de adsorción en 1640,10cm⁻¹ que

corresponde a la vibración C=O, los grupos funcionales determinados por espectrometría infrarroja nos indica la presencia de grupos activantes.

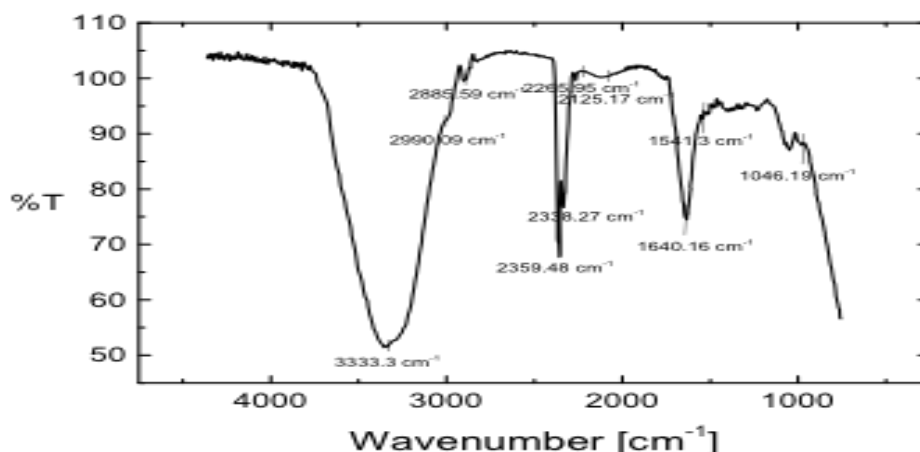


Gráfico 1-3: Espectro infrarrojo con transformadas de Fourier del carbón activado.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

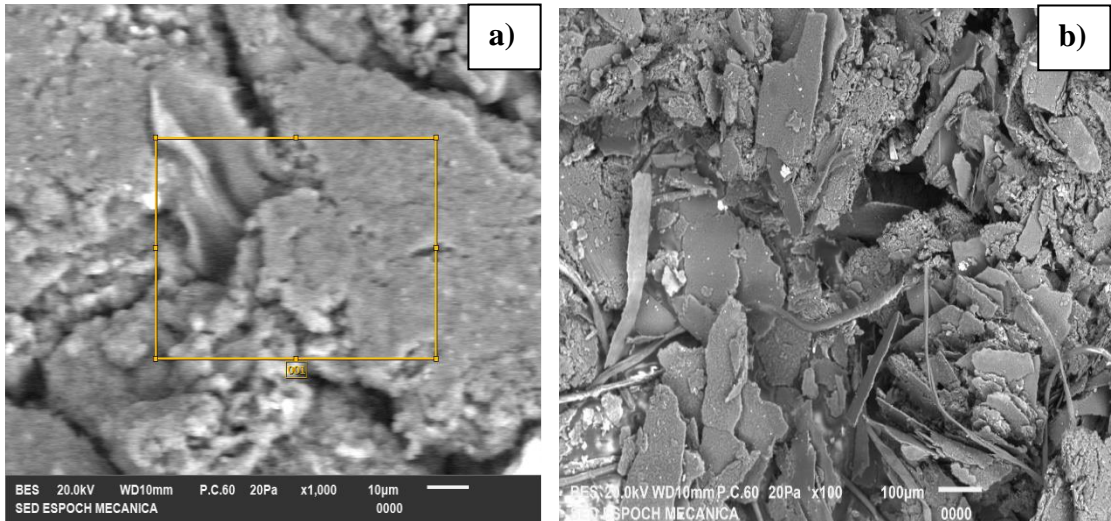
Tabla 3-3: Grupos funcionales presentes en el FT-IR del carbón activado.

Número de onda [cm ⁻¹]	Grupo Funcional
3328	Hidroxilo C=C-OH
2921	C-H Bandas de estiramiento simétrico
2359	NH ₃ Grupos aminos
2338	Banda de estiramiento de CO ₂
1640	Banda de estiramiento de C=O
1234	Balaceo C-H

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

3.2.2. *Análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM) del carbón activado*

En la fotografía 1-3 se muestran fotomicrografías del carbón activado obtenidas con un tamaño entre 10-100 μm , en la figura a) se distinguen intersticios entre “escama” y “escama” y en la figura b) se puede apreciar la aparición de las estructuras porosas que puede evidenciar el efecto del agente activante (Cloruro de zinc) en la estructura, acompañado del tratamiento de pirólisis.



Fotografía 1-3: Micrografía de la estructura del carbón activado mediante la técnica SEM, a) imagen CAx1,000 y b) imagen CAx100.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

3.2.3. Técnica FT-IR del óxido de grafeno

Al analizar el espectro IR del óxido de grafeno se puede evidenciar un pico intenso en torno a la longitud de onda de 3359 cm^{-1} correspondientes a los grupos funcionales carboxilos (O-H). Además, se visualiza otro pico representativo a los 1640 cm^{-1} en donde se localiza los grupos funcionales C=C correspondientes a los dominios grafiticos originales y con una buena presencia en cuanto a la intensidad del pico, lo que conduce a la conclusión de que la hibridación sp^2 se ha conservado en mayor parte la estructura del material.

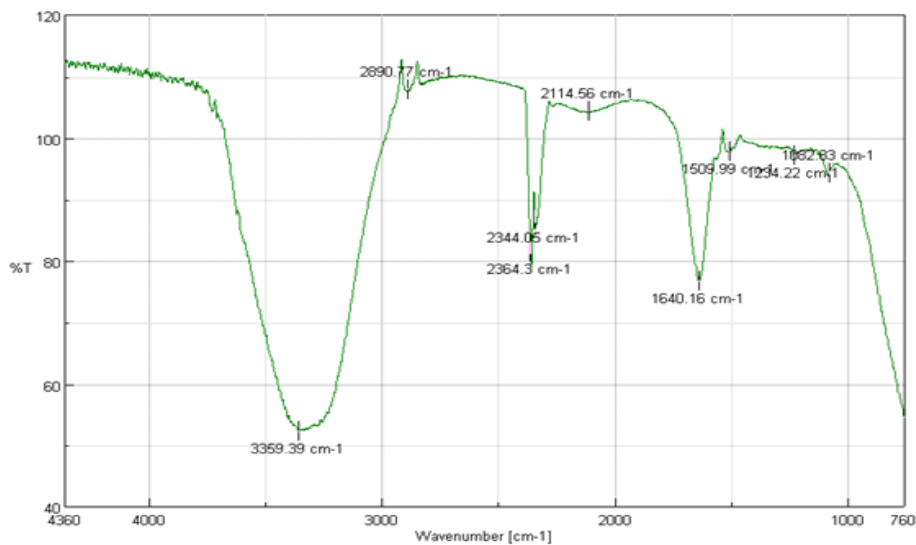


Gráfico 2-3: Espectros FT-IR del óxido de grafeno.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

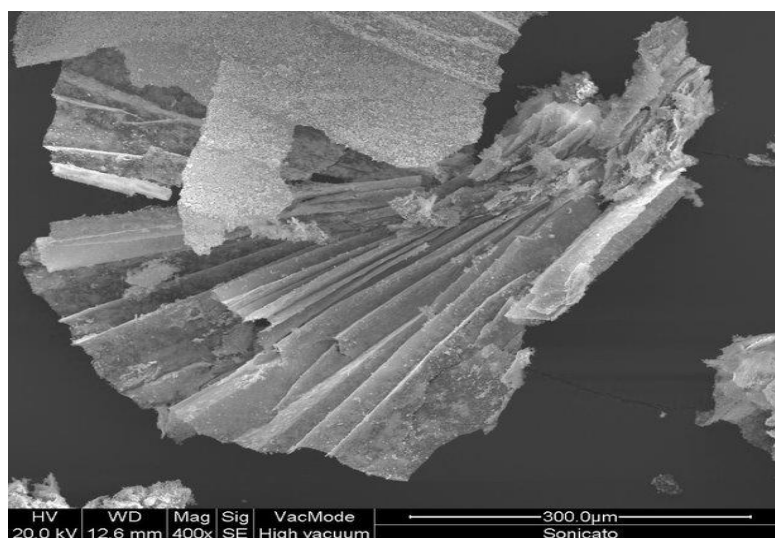
Tabla 4-3: Resultados de la espectroscopía FT-IR del óxido de grafeno.

Número de onda [cm^{-1}]	Grupo Funcional
3359,39	O – H
2890,77	
1640.16	C = C
1234.22	C – O
1082.83	C – O – C

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

3.2.4. *Análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) del óxido de grafeno*

La microscopía SEM (Fotografía 2-3) muestra las “escamas” del óxido de grafeno recuperado después del tratamiento químico y posterior secado, se pueden observar claramente las hojas delgadas y arrugadas de óxido de grafeno, las “escamas” recuperadas están en el orden desde los 10 μm hasta $\approx 500 \mu\text{m}$, cabe recalcar que el óxido de grafeno a diferencia del grafeno intrínseco tiene una propiedad importante que es la hidrofiliidad, es decir una alta afinidad de enlazarse temporalmente a las moléculas de agua a través de un enlace de hidrogeno. Esta importante propiedad confiere una amplia gama de aplicaciones en el campo de la tecnología.



Fotografía 2-3: Micrografía de las “escamas” del óxido de grafeno usando el microscopio SEM, la imagen (x400) muestra la estructura del material posterior al proceso de obtención y secado.

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

3.3. **Coefficientes de adsorción del CA y OG**

El coeficiente de adsorción del CA se obtuvo siguiendo la metodología descrita en la sección 3.9. El valor obtenido es 0,25 [m^3/kg] para el CA (ver tabla 5-3), producido mediante el proceso de pirólisis y activación química con el Cloruro de Zinc. Este valor es de un orden de magnitud inferior al coeficiente de adsorción de radón para el CA reportado por en el trabajo de Bikit et al.

(2014), en donde también se utiliza carbón activado pulverizado. Ya que el coeficiente de adsorción mide la capacidad del material para retener átomos de radón en la superficie, en el interior y en la profundidad del CA, se puede decir que el bajo coeficiente de adsorción en el presente estudio se atribuye a las características de porosidad y granulometría del material adsorbente (CA pulverizado). Estas características dependen de la activación química del CA, para el presente caso se usó el Cloruro de Zinc al 40%, que aumenta la probabilidad de formación de grupos funcionales los cuales producen una interacción intermolecular, sin embargo, estos grupos funcionales disminuyen y corrugan la superficie en contacto, es decir, decrece la capacidad de adsorción en la superficie. Así mismo, los grupos funcionales disminuyen la porosidad del material lo cual se traduce en una pérdida de la adsorción interna. El coeficiente de adsorción del CA reportado en el presente trabajo es compatible con los valores del coeficiente de adsorción calculados para la zeolita natural en el trabajo antes mencionado (Bikit et al., 2014), es pertinente mencionar que la zeolita no ha sido ampliamente usada como medio de mitigación del radón. La ventaja del CA frente al uso de otros materiales es la reutilización de desechos de la producción agrícola.

El valor del coeficiente de adsorción para el OG es 6066 [m³/kg]. Este valor se calculó a partir de la densidad de flujo del radón (valores tomados de tabla 2-3) y la ecuación (20). Por literatura sabemos que la superficie específica del OG (2600 m²/g) es 5 veces mayor que la del CA (500 m²/g), es por ello el coeficiente de adsorción del OG es mucho mayor en comparación con el CA, es por esto que, el OG es un material altamente recomendable para la mitigación de este gas. A continuación, se presenta una recopilación de los coeficientes de adsorción y detalles experimentación bajo los cuales fueron determinados estos coeficientes:

Tabla 5-3: Comparación de coeficientes de adsorción del CA, OG y Zeolita.

Estudio	Sofía L; 2020	"Adsorción de radón por zeolita"; I. Bikit ¹ ; 2015				"Roll-to-roll graphene oxide radon barrier membranes"; Myoung-Seon Gong ¹ ; 2019
	Carbón Activado	Carbón Activado	Zeolita natural (10min) fresado	Zeolita natural (20min) fresado	Zeolita natural (40min) fresado	Óxido Grafeno
Material para remediación de Rn	Carbón Activado	Carbón Activado	Zeolita natural (10min) fresado	Zeolita natural (20min) fresado	Zeolita natural (40min) fresado	Óxido Grafeno
Material Cámara	acrílico	vidrio	vidrio			–
Volúmen cámara [L]	8	5,4	5,4			–
Fuente para irradiación	222Rn/238U	óxido de circonio (0,9kg) contiene 226Ra (4,10 ± 0,20)kBq/kg				–
Masa material carbón actividad [g]	10	5	50	50	50	0,077
Duración de exposición hasta saturar la muestra	30min	1h (exposición de 48h)	48h			500h
Intervalos tiempo exposición	5min	1h	1h			1h
Concentración Actividad 222Rn inicial [Bq/m ³]	12500	~2400	1400-1800	1400-1800	1400-1800	47,7x10 ⁶
Concentración Actividad 222Rn final (satura muestra) (Bq/m ³)	9580	~370	no esta definido			39,06x10 ⁶
Coefficiente adsorción (m ³ /kg)	0,25	3	0,046 - 0,009	0,11 - 0,021	0,006	6066
T.Aire [°C]	28,5-29,1	25-30				21 ± 2
R.H [%]	41-40	7				38 ± 4
Recipiente donde es colocado el material	plástico	metal	metal	metal	metal	membrana PET-óxido de grafeno
Equipo	RAD7	RAD7				Lucas Cell

Realizado por: Lechón, Leidy.2020

CONCLUSIONES

- Se caracterizó el residuo lignocelulósico proveniente de la planta de tomate riñón (*solanum lycopersicum*). Los residuos de la planta de tomate riñón (posterior a la fructificación) presenta una humedad de 36,32%, este porcentaje de humedad está en el rango del contenido de humedad (50%) apto que se requiere para considerarlo como una materia prima.
- Se utilizaron los residuos de las plantas de tomate riñón para obtener el carbón activado, se sometieron a un proceso de trituración y secado previo a su proceso de pirolisis. Se expusieron a un flujo de gas de nitrógeno a 440 °C y 60 psi en 30 minutos. La cantidad de producto final obtenido de carbón (42,4601 g) en comparación con la materia prima inicial (100,2782 g) colocada en el reactor es menor, lo que equivale a un rendimiento del 42,34% de la masa total empleada para el proceso de carbonización.
- El carbón conseguido del pirolizado del material lignocelulósico se oxidó por activación química utilizando el Cloruro de Zinc al 40%. El proceso de activación química consistió en mezclar el carbón con una disolución del químico activante en agua destilada, dejando secar por 24 horas, luego se aclaró el precipitado varias veces utilizando agua destilada a una temperatura de 80 °C, para finalmente tamizar y dejar secar en la estufa por 24 horas a una temperatura de 110 °C. La activación es importante puesto que mejora la capacidad de adsorción del material.
- Para caracterizar los materiales adsorbentes (CA y OG) se aplicó la técnica de espectroscopía de infrarrojo (FT-IR), esto permitió caracterizar fisicoquímicamente los materiales evidenciando sus principales grupos funcionales. Además, se utilizó la técnica de microscopia electrónica de barrido (SEM) para observar de una manera cualitativa las características superficiales tanto del carbón activado como del óxido de grafeno, así como determinar el tamaño lateral, la porosidad el tamaño de partícula ya que a través del barrido electrónico se puede alcanzar resoluciones en el orden de micrómetros.
- Se diseño y construyó la configuración experimental que permitió desarrollar los ensayos para adsorber ^{222}Rn en filtros que contienen carbón activado. La configuración experimental consistió en un sistema cerrado que incluía una cámara de acrílico (20x20 cm²), un mineral radiactivo natural (92% de ^{238}U), un disecante para absorber la humedad (CaSO₄), conjunto de tubería (vinilo) , el soporte para filtro de tubo PVC, material adsorbente y espectrómetro alfa (RAD7).

Para la validación de la configuración experimental se llevó a cabo pruebas de tasa de fuga del sistema cerrado (cámara,tubos,RAD7) siendo $0,025h^{-1}\pm(0,12\%)$, lo que evidencia un intercambio de aire de 0,2 L/h. Además, se llevaron a cabo medidas de la concentración actividad de radón en el laboratorio para asegurarse de que no interfieran con el valor de la concentración dentro de la cámara, el valor de fondo medido durante la experimentación es $23,36 \pm 7,52$ Bq/m³. El flujo de velocidad de aire es de 1L/min el cual es generado por la bomba interna del RAD7.

- El coeficiente de adsorción del carbón activado producido en este trabajo es 0,25 [m³/kg]. Mientras que para el óxido de grafeno es 6066 [m³/kg]. El primer coeficiente reportado fue determinado mediante los ensayos experimentales detallados en la sección 3.10 y el segundo coeficiente se calculó a partir de datos obtenidos mediante una revisión bibliográfica.

RECOMENDACIONES

- Utilizar otros materiales activantes diferente al Cloruro de Zinc para mejorar las propiedades adsorbentes del carbón activado elaborado a partir de residuos de solanum lycopersicum.
- Controlar la humedad y temperatura del aire como parámetros importantes durante los ensayos experimentales, ya que estos intervienen en el rendimiento del material adsorbente.
- Reducir la humedad relativa del aire que circula a través del espectrómetro alfa (RAD7), para evitar las correcciones que se deben realizar a los datos de concentraciones de actividad de radón.
- Realizar un análisis de espectrometría gamma del material adsorbente para corroborar la concentración de actividad de radón adsorbido en el material.
- Llevar a cabo los ensayos de laboratorio que permita determinar experimentalmente el coeficiente de adsorción del óxido de grafeno a diferentes concentraciones.

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, Alejandro & NAVARRO, Enrique A. *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. In : *ICIDCA : Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 2012. p. 15-16.

ADAMS, Robert E., BROWNING, William E. & ACKLEY, Robert D. *Radioactive Fission Gases*. In : [En línea]. 1959. Vol. 51, n° 12, p. 1467-1470. DOI <https://doi.org/10.1021/ie50600a032>. Disponible en: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie50600a032>>.

ANTONIO, José & CARRASCO, Cárcel. *El gas radón , un silencioso y peligroso invitado en los hogares*. In : . 2007. Vol. 222, p. 28-32.

APPLETON, J. D., et al. *Radon gas hazard*. In : *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*. 2020. Vol. 29, n° 1, p. 433-456. DOI 10.1144/EGSP29.18.

ARTEAGA, Augusto & LLIGUIN, Arturo. *"Reducción de los niveles de ²²²Rn en viviendas de la Parroquia Victoria del Portete, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay"*. (tesis) (pregrado) [En línea]. S.l. : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador, 2019. Disponible en: <<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9041>>

ÁVILA, Jhonnatan. *"Evaluación del comportamiento en compresión de morteros reforzados con óxido de Grafeno y costos inherentes al proceso productivo de mezcla"*. (tesis)(pregrado) [En línea]. S.l. : UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO. Guayaquil, Ecuador, 2018. Disponible en: <[http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2917/1/Tesis óxido de grafeno 2018.pdf](http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2917/1/Tesis%20óxido%20de%20grafeno%202018.pdf)>

BIKIT, I. et al. *Radon adsorption by zeolite*. In : *Radiation Measurements* [En línea]. 2014. Vol. 72, p. 70-74. DOI 10.1016/j.radmeas.2014.12.001. Disponible en : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448714003291?via%3Dihub>>

CHAO, Christopher. et al. *Determination of radon emanation and back diffusion characteristics of building materials in small chamber tests*. In : *Building and Environment* [En línea]. 1997. Vol. 32, n° 4, p. 355-362. DOI 10.1016/S0360-1323(96)00071-6. Disponible en : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132396000716?via%3Dihub>>

CHICLOTE GONZALES, Yuliana. *"Mejora De La Calidad Del Agua De Río Cumbe Empleando Filtro De Carbón Activado"*. (tesis) [En línea]. S.l. : Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú, 2018. Disponible en: < <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13839>>

COLEMAN, R L. *Use of Activated Charcoal for ²²⁰Rn Adsorption for Operations Associated with the Uranium Deposit in the Auxiliary Charcoal Bed at the Molten Salt Reactor Experiment*

Facility [En línea] 1999. Tennessee, USA. Disponible en: <<https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub57606.pdf>.>

CONNIE BOOX, Bjerking AB. *Radon charcoal cleaner* [En línea] 2010. Praga, República Checa. Disponible en: <http://www.svenskradonforening.se/sites/default/files/bjerking_-_research_report_pub.pdf.>

CORTES, William. *Materiales Lignocelulosicos Como Fuente De Biocombustibles y Productos Químicos*. 2011. In : *Ciencia y Tecnología Aeronáutica*. 2011. Vol. 16, p. 43-44.

CSIGE, I., SZABÓ, Zs & SZABÓ, Cs. *Experimental technique to measure thoron generation rate of building material samples using RAD7 detector*. In : *Radiation Measurements* [En línea]. 2013. Vol. 59, p. 202. DOI 10.1016/j.radmeas.2013.07.003. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448713002837?via%3Dihub>.>

DURRIDGE COMPANY. *Detector de radón RAD7: Manual del Usuario*. [En línea]. 2014. Boston, USA. Disponible en: <[https://durridge.com/documentation/RAD7 Manual Spanish.pdf](https://durridge.com/documentation/RAD7%20Manual%20Spanish.pdf).>

GARCÍA MARTÍNEZ, Vanessa. "*Estudio de la estabilidad del óxido de grafeno con el tiempo*" (tesis) [En línea] 2013. S.l.: Universidad de Oviedo, España. Disponible en: <[http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/19083/3/TFM Vanessa García Martínez.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/19083/3/TFM%20Vanessa%20García%20Martínez.pdf).>

GARZON, Gustavo. *El Radón - Manual Teórico Práctico*. In : [En línea]. 2009. n° Octubre, p. 17-20. DOI 10.13140/2.1.1932.4800. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/265050493_El_Radon_-_Manual_Teorico_Practico>

GAUL, Wayne C. & UNDERHILL, Dwight W. *Dynamic adsorption of radon by activated carbon*. In : *Health Physics* [En línea]. 2005. Vol. 88, n° 4, p. 371-378. DOI 10.1097/01.HP.0000152110.01409.3e. Disponible en: <https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/2005/04000/DYNAMIC_ADSORPTION_OF_RADON_BY_ACTIVATED_CARBOON.9.aspx.>

GONG, Myoung Seon. et al. *Roll-to-roll graphene oxide radon barrier membranes*. In : *Journal of Hazardous Materials* [En línea]. 2019. Vol. 383, p. 121148. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121148>. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389419311021>.>

GONZÁLEZ, Rodríguez C. & VASILIEVNA, Kharissova O. *Propiedades y aplicaciones del grafeno*. In : *Ingenierías* [En línea]. 2008. Vol. 11, n° 38, p. 2. Disponible en: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2526712>.>

HAGEMANN, Nikolas. et al. *Activated carbon, biochar and charcoal: Linkages and synergies across pyrogenic carbon's ABCs*. In : *Water (Switzerland)* [En línea]. 2018. Vol. 10, n° 2, p. 3-4.

DOI 10.3390/w10020182. Disponible en: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/10/2/182>>

ISHIMORI, Y. et al. *Measurement and Calculation of Radon Releases from NORM Residues* [En línea] 2013. S.l. Disponible en: <<https://www.iaea.org/publications/10369/measurement-and-calculation-of-radon-releases-from-norm-residues>>

KAYLEN, Michael. et al. *Economic feasibility of producing ethanol from lignocellulosic feedstocks*. In : *Bioresource Technology* [En línea]. 2000. Vol. 72, n° 1, p. 19-20. DOI 10.1016/S0960-8524(99)00091-7. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852499000917?via%3Dihub>>

LARA, Mariuxi Janeth & ROMERO, María Magdalena. *"Elaboración de un filtro de barro compuesto de arcilla roja, óxido de grafeno y nanopartículas de plata para el tratamiento de aguas de río Chimbo."* (tesis) (pregrado) [En línea] 2018. S.l. : Universidad de Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33471>>

LLERENA, Juan. *"Medición de la concentración de gas ^{222}Rn en el interior de edificios."* [En línea] 2006. S.l. : Universidad de Santiago de Compostela, España. Disponible en: <http://fpsalmon.usc.es/Diplomas/DEA_JLLerena.pdf>

LÓPEZ, F. O. & CANOBA, A. C. *^{222}Rn gas diffusion and determination of its adsorption coefficient on activated charcoal*. In : *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* [En línea]. 2002. Vol. 252, n° 3, p. 515. DOI 10.1023/A:1015850703585. Disponible en: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1015850703585>>

MORENO PIRAJÁN, Juan C. et al. 2007. *Adsorción de fenol y 3-cloro fenol sobre carbones activados mediante calorimetría de inmersión*. In : *Informacion Tecnologica* [En línea]. 2007. Vol. 18, n° 3, p. 71-80. DOI <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000300009>. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642007000300009>

NOR, Norhusna Mohamad. et al. *Synthesis of activated carbon from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution control*. In : *Journal of Environmental Chemical Engineering* [En línea]. 2013. Vol. 1, n° 4, p. 658-659. DOI 10.1016/j.jece.2013.09.017. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343713001826?via%3Dihub>>

PADRÓN, Rolando. et al. *El carbón activado, un material adsorbente*. In : *DOCPLAYER* [En línea]. 2013. Disponible en: <<https://docplayer.es/12326870-El-carbon-activado-un-material-adsorbente-rolando-padron-clara-rodriguez-alain-gomez-msc-ariel-garcia-dr-c-lourdes-gonzalez.html>>

QUIROZ, Gabriela & JARAMILLO, Jomayra. *"Aprovechamiento de los residuos de cacao y*

coco para la obtención de carbón activado, en el cantón Milagro, provincia del Guayas." (tesis) [En línea]. 2015. S.l. : Universidad de Guayaquil, Ecuador, 2015. Disponible en: <<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8941>.>

RODRÍGUEZ, Alba. "*Grafeno : síntesis , propiedades y aplicaciones biomédicas.*" (tesis) [En línea]. 2016. S.l. : Universidad Complutense. Madrid, España, 2016. Disponible en: <<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ALBA RODRIGUEZ VILLALON.pdf>.>

RODRÍGUEZ, Santiago. "*Elaboración y caracterización de carbón activado a partir de residuos agroindustriales para reducir fluoruros en aguas de consumo.*" (tesis) (pregrado) S.l. : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador, 2020.

SAMANTARA, Aneeya K., RATHA, Satyajit & RAJ, Sudarsan. *Functionalized graphene nanocomposites in air filtration applications.* [En línea]. 2019. S.l. : Elsevier Inc. ISBN 9780128145531. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814548-7.00004-0>.>

TAR, Grupo. *Manual Del Carbón Activo.* [En línea]. 2002. S.l. : s.n. Disponible en: <<https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/manual-del-carbon-activo>.>

ZHOU, Qingzhi. et al. *Prediction of radon removal efficiency for a flow-through activated charcoal system and radon mitigation characteristics.* In : *Radiation Measurements* [En línea]. 2018. Vol. 119, p. 112-120. DOI 10.1016/j.radmeas.2018.10.004. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448718303779?via%3Dihub>.>

ANEXOS

ANEXO A: Certificado de calibración y originalidad del Detector RAD7.

**DURRIDGE**
RADON INSTRUMENTATION

Durrige Company
524 Boston Road, Billerica, MA 01821
Tel: (978) 667-9556, Fax: (978) 667-9557
www.durrige.com

Certificate of Calibration
RAD7 PROFESSIONAL RADON DETECTOR (NRSB Device Code - 31S10 CR)

Calibration Date:	December 1, 2017	Date of Previous Calibration:	_____
Serial Number:	4670	Previous Sensitivity, Normal mode:	_____
Model Number:	RAD7-716	Previous Sensitivity, Sniff mode:	_____
Firmware Version:	3.1a 151208	Previous CB Spill Factor:	_____
RAD7.INSK Version:	311		
Dates of Calibration Run:	November 29, 2017 to December 1, 2017		
Reference Unit Numbers:	504, 964, 1277, 4232		
Mean Temperature:	22.2 °C		
Mean Radon Concentration:	63.2 pCi/L, 2140 Bq/m ³		
Sensitivity, Normal Mode:	0.502 CPM (pCi/L), 0.0136 CPM (Bq/m ³)		
Sensitivity, Sniff Mode:	0.241 CPM (pCi/L), 0.00651 CPM (Bq/m ³)		
CB Spill Factor:	0.015		
Calibration Uncertainty:	2% 2-Sigma (See Notes 1, 2)		
Conversion Factor, Normal:	1.69 (pCi/L)/cpm, 73.7 (Bq/m ³)/cpm		
Conversion Factor, Sniff:	4.15 (pCi/L)/cpm, 154 (Bq/m ³)/cpm		

Note 1: Based on counting statistics of the reference and this unit.
Note 2: No account has been made for the calibration uncertainty of the reference unit relative to an absolute standard, which is estimated to be within ±1-5%.

NRSB Accredited Radon Chamber Certificate Number: NRSB TRC0003

5-2184 Certification Number: 1058010

Calibration Technician: Kathleen Fletcher

Signature:  Date: 1 Dec. 2017

By EPA recommendation, this unit should be calibrated again on or before: December 1, 2018



DURRIDGE COMPANY Inc
524 Boston Road, Eborca, Massachusetts 01821
Phone: 978.657.9656 • Fax: 978.657.9657
Web: www.durrige.com • Email: info@durrige.com

Certificate of Origin

THIS IS TO CERTIFY THAT THE FOLLOWING COMMODITY WAS
MANUFACTURED IN THE COUNTRY STATED BELOW.

PRODUCT: ELECTRONIC RADON DETECTOR

MODEL: RAD7

SERIAL NUMBER: 4670

COUNTRY OF ORIGIN: USA

SUPPLIER: DURRIDGE COMPANY INC.

SIGNATURE: L.M. Albertelli

OF THE AUTHORIZED PERSON: L.M. ALBERTELLI

DATE: December 18, 2017



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL
APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 04 / 11 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Leidy Sofia Lechón Páez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Biofísica
Título a optar: Biofísica
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



visítanos electrónicamente por:
LUIS ALBERTO
CAMINOS
VARGAS



0380-DBRAI-UPT-2020