



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA BIOFÍSICA**

**“CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR RADÓN ( $^{222}\text{Rn}$ ) EN  
RESIDENCIAS DE LOS CANTONES DE RIOBAMBA, COLTA Y  
GUANO”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Integrador

Presentado para optar al grado académico de:

**BIOFÍSICA**

**AUTORES:** JOHANA KATHERINE CABAY GIRÓN

KELVIN DANIEL CÓRDOVA HERNÁNDEZ

**DIRECTORA:** Dra. JHENY DEL CARMEN ORBE ORDOÑEZ PhD

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Johana Katherine Cabay Girón & Kelvin Daniel Córdova Hernández**

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.

Nosotros, JOHANA KATHERINE CABAY GIRÓN y KELVIN DANIEL CÓRDOVA HERNÁNDEZ declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y academica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 03 de Diciembre de 2021.



**Johana Katherine Cabay Girón**

**060459417-6**



**Kelvin Daniel Córdoba Hernández**

**091929879-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA BIOFÍSICA**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Integrador, **CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR RADÓN ( $^{222}\text{Rn}$ ) EN RESIDENCIAS DE LOS CANTONES DE RIOBAMBA, COLTA Y GUANO**, realizado por los señores: **JOHANA KATHERINE CABAY GIRÓN Y KELVIN DANIEL CÓRDOVA HERNÁNDEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Biof. Daniela Alejandra Barragan Rivera MSc.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

2021-12-03

Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez PhD

**DIRECTORA DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

2021-12-03

Biof. María Fernanda Heredia Moyano MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

2021-12-03

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres Pedro, Gladys y a mi hermano Luis Fernando con todo mi corazón porque ellos han sido mi pilar fundamental, mi inspiración en todo momento de mi vida, por los valores que ellos me han inculcado hoy estoy cumpliendo mi meta y haciendo realidad mi sueño como es, culminar con éxito mis estudios superiores y con su infinito amor supieron guiarme por el camino del bien para ser útil conmigo mismo y con la sociedad.

***Johana***

Dedico este trabajo a mis queridos padres Marco y Mónica que fueron un pilar fundamental en mi vida brindándome su amor, paciencia y apoyo durante mi trayectoria estudiantil, ayudándome a cumplir con mis metas propuestas y culminar con mi formación académica. A mis hermanas Erika y Alisson por su cariño y confianza que han puesto en mi para seguir adelante y no rendirme durante mi carrera universitaria.

***Kelvin***

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero extender un profundo agradecimiento a todos quienes hicieron posible para cumplir con satisfacción mis sueños y anhelos de llegar a culminar con éxito mis estudios superiores, a Dios por ser mi fortaleza durante toda mi carrera universitaria, porque gracias a su infinita bondad y protección ha sabido iluminar mis pensamientos, a Pedro, Gladys, Mónica y Marco nuestros padres queridos, a Luis Fernando, Erika y Alisson nuestros hermanos porque gracias al apoyo incondicional que nos han brindado, por apoyarnos en cada momento de nuestras vidas y a la Dra. Jheny Orbe, tutora del trabajo, por su permanente asesoramiento, por la paciencia y apoyo que nos brindó durante el transcurso de la realización del trabajo de titulación, esperando que sea guía positiva para las futuras generaciones de estudiantes de la ESPOCH y gracias a sus enseñanzas sembró el espíritu de superación.

*Johana & Kelvin*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Radiactividad.....	3
1.2. Radiación ionizante.....	3
1.3. Fuentes de radiación.....	4
1.4. Decaimiento radiactivo.....	4
1.4.1. <i>Decaimiento alfa</i> .....	4
1.4.2. <i>Radiación gamma</i> .....	5
1.4.3. <i>Decaimiento beta</i> .....	5
1.5. Series de desintegración radiactivas.....	6
1.6. Historia del radón.....	8
1.6.1. <i>Propiedades físicas</i> .....	8
1.6.2. <i>Propiedades químicas</i> .....	8
1.7. Transporte del radón hacia el exterior.....	9
1.7.1. <i>Emanación</i> .....	10
1.7.2. <i>Difusión</i> .....	10
1.7.3. <i>Exhalación.</i> .....	11
1.8. Efectos biológicos por inhalación del $^{222}\text{Rn}$ .....	11
1.9. Normativa de la Unión Europea.....	12
1.10. Comisión Internacional de Protección Radiológica.....	12

## **CAPÍTULO II**

<b>2. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	13
<b>2.1. Descripción del área de estudio</b> .....	13
<b>2.2. Descripción del sistema de medición</b> .....	14
<b>2.3. Protocolo de monitoreo y medición de radón-222 en interiores</b> .....	16

## **CAPÍTULO III**

<b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	20
<b>3.1 Características de las residencias monitoreadas</b> .....	20
<b>3.2. Concentración de radón-222 en las residencias monitoreadas en el cantón Riobamba</b> .....	27
<b>3.3. Concentración de radón-222 en las residencias monitoreadas en el cantón Colta</b> .	28
<b>3.4. Concentración de radón-222 en las residencias monitoreadas en el cantón Guano</b> .....	30
<b>3.5. Análisis de resultados</b> .....	33

<b>CONCLUSIONES</b> .....	35
---------------------------	----

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	36
------------------------------	----

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3.</b>	Características de las residencias del cantón Riobamba. ....	27
<b>Tabla 2-3.</b>	Característica de las residencias del cantón Colta. ....	28
<b>Tabla 3-3.</b>	Característica de las residencias del cantón Guano. ....	30
<b>Tabla 4-3.</b>	Concentración de $^{222}\text{Rn}$ en una muestra de residencias del cantón Riobamba. ....	32
<b>Tabla 5-3.</b>	Concentración de $^{222}\text{Rn}$ en una muestra de residencias del cantón Colta. ....	34
<b>Tabla 6-3.</b>	Concentración de $^{222}\text{Rn}$ en una muestra de residencias del cantón Guano. ....	36
<b>Tabla 7-3.</b>	Comparación de concentración $^{222}\text{Rn}$ en las muestras de las residencias mencionadas por cantón. ....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b>	Decaimiento del Uranio – 238 .....	16
<b>Figura 2-1.</b>	Emanación, difusión y exhalación del Rn.....	18
<b>Figura 3-1.</b>	Difusión de Radón.....	19
<b>Figura 1-2.</b>	Sistema E-PERM.....	21
<b>Figura 2-2.</b>	Identificación de los Electrets .....	21
<b>Figura 3-2.</b>	Esquema de la cámara “S” .....	22
<b>Figura 4-2.</b>	Esquema del funcionamiento de la cámara de iones electrets. ....	22
<b>Figura 5-2.</b>	Partes del lector de voltaje modelo SPER-1E .....	23
<b>Figura 6-2.</b>	Sistema E-PERM utilizado .....	23

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3.</b>	Concentraciones de Rn en las muestras del cantón Riobamba. ....	33
<b>Gráfico 2-3.</b>	Concentraciones de Rn en las muestras del cantón Colta. ....	35
<b>Gráfico 3-3.</b>	Concentraciones de Rn en las muestras del cantón Riobamba. ....	37
<b>Gráfico 4-3.</b>	Comparación de concentraciones de los cantones Riobamba, Colta y Guano. ...	38

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A. GEOREFERENCIACIÓN DE LAS CASAS MONITOREADAS**

**ANEXO B. FICHA TÉCNICA**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$^{238}\text{U}$	Uranio 238
$^{222}\text{Rn}$	Radón 222
$^{226}\text{Rn}$	Radón 226
<b>Tn</b>	Torón
<b>An</b>	Actinón
$\alpha$	Alpha
$\beta$	Beta
$\gamma$	Gamma
<b>m.s.n.m</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>OMS</b>	Organización mundial de la salud
<b>Bq/m<sup>3</sup></b>	Becquerelio / metro cúbico
<b>pCi/L</b>	PicoCurie / litro
<b>Msv</b>	MiliSievert
<b>UNSCEAR</b>	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
<b>AND</b>	Ácido desoxirribonucleico
<b>RMB</b>	Riobamba
<b>CTA</b>	Colta
<b>GNO</b>	Guano
<b>keV</b>	Kiloelectronvoltio
<b><math>\mu\text{Sv/h}</math></b>	microsievert / hora
<b><math>\mu\text{Gy/h}</math></b>	microgray / hora
<b>ICRP</b>	comisión internacional de protección radiológica.
<b>EURATOM</b>	Comunidad Europea de Energía Atómica

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar la contaminación del aire interior por radón ( $Rn\ 222$ ) en una muestra de 45 residencias de los cantones de Riobamba, Colta y Guano, ubicadas tanto en parroquias urbanas como rurales. Todas las viviendas fueron estudiadas con el mismo protocolo de monitoreo y medición, usando el sistema de detección pasivo E-PERM- SST, con un período de medición de siete días. De los resultados obtenidos se pudo evidenciar que más del 50% de las casas presentan una concentración de radón entre 30 y 50 Bq/m<sup>3</sup> y que apenas el 18% presentan concentraciones mayores a 50 Bq/m<sup>3</sup>. La concentración más alta (84 Bq/m<sup>3</sup>) se observó en una casa de la parroquia de Sicalpa - Colta, valor inferior al nivel de referencia de 300 Bq/m<sup>3</sup> establecido por la Comunidad Europea de Energía Atómica (EURATOM) en la Directiva 2013/59. Además, no se observó una relación entre la concentración de radón y los materiales de construcción de las paredes y el piso, por lo que se deduce que la variabilidad de los resultados se debe al tipo de suelo sobre el cual está construida la vivienda. En términos de cantones, Colta presentó la concentración media de radón más alta (41 Bq/m<sup>3</sup>), seguido por Riobamba (38 Bq/m<sup>3</sup>) y Guano (36 Bq/m<sup>3</sup>). Para obtener resultados satisfactorios se recomienda no tocar la superficie del Electret con la mano o colocarlo sobre una superficie sin su tapa, esto ocasionará que el detector pierda su carga electrostática y quede inservible.

**Palabras clave:** <GAS RADÓN ( $^{222}Rn$ )>, <DETECTORES E-PERM>, <INHALACIÓN DE GAS RADÓN >, <EMANACIÓN DE GAS RADÓN>, <CONCENTRACIÓN DE RADÓN>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>, <COLTA (CANTÓN)>, <GUANO (CANTÓN)>.



0035-DBRA-UTP-2022

## SUMMARY

The aim of this work was to quantify indoor air contamination by radon ( $Rn\ 222$ ) in a sample of 45 residences in the cantons of Riobamba, Colta and Guano, located in both urban and rural parishes. All homes were studied with the same monitoring and measurement protocol, using the E-PERM- SST passive detection system, with a measurement period of seven days. The results showed that more than 50% of the houses had radon concentrations between 30 and 50 Bq/m<sup>3</sup> and only 18% had concentrations higher than 50 Bq/m<sup>3</sup>. The highest concentration (84 Bq/m<sup>3</sup>) was observed in a house in the parish of Sicalpa - Colta, a value lower than the reference level of 300 Bq/m<sup>3</sup> established by the European Atomic Energy Community (EURATOM) in Directive 2013/59. In addition, no relationship was observed between radon concentration and the construction materials of the walls and floor, so it is inferred that the variability of the results is due to the type of soil on which the dwelling is built. In terms of cantons, Colta had the highest average radon concentration (41 Bq/m<sup>3</sup>), followed by Riobamba (38 Bq/m<sup>3</sup>) and Guano (36 Bq/m<sup>3</sup>). To obtain satisfactory results, it is recommended not to touch the surface of the Electret with the hand or to place it on a surface without its cover, as this will cause the detector to lose its electrostatic charge and become unusable.

**Keywords:** <RADON GAS ( $^{222}Rn$ )>, <E-PERM DETECTORS>, <INHALATION OF RADON GAS>, <RADON GAS EMANATION>, <RADON CONCENTRATION>, <RIOBAMBA (CANTON)>, <COLTA (CANTON)>, <GUANO (CANTON)>.

CARMITA  
EULALIA  
ROJAS  
CASTRO



Digitally signed by  
CARMITA EULALIA  
ROJAS CASTRO  
Date: 2022.01.10  
20:35:10 -05'00'

## INTRODUCCIÓN

Las personas estamos expuestas diariamente a la radiación ionizante de origen artificial o natural. La radiación artificial es generada por el hombre en diversas actividades, por ejemplo, en la industria, la medicina y la investigación. La radiación natural está presente en la naturaleza sin intervención humana, es decir es todo lo que nos rodea. Dentro de la radiación natural está el radón que es la mayor fuente de exposición del ser humano a la radiación ionizante. (UNSCEAR, 2008, pp. 5-8).

El radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) es un gas noble radioactivo generado por el decaimiento del radio ( $^{226}\text{Ra}$ ), miembro de la serie del uranio ( $^{238}\text{U}$ ), tiene un amplio rango de concentración en todos los materiales geológicos, principalmente, en rocas, suelos y aguas. Algunos átomos de radón se liberan de la matriz sólida del material por retroceso cuando el radio decae. Por difusión y advección, son transportados desde el espacio poroso a la atmósfera y por medio de fisuras, tuberías, orificios que pueden ingresar a las residencias y otros edificios (Santos et al. 2009).

A lo largo de varias décadas se ha realizado investigaciones sobre el radón iniciado en Europa, América del Norte, Asia y Australia, enfocándose en los trabajadores de minas subterráneas expuestos a concentraciones de radón elevadas en su lugar de trabajo. De la misma manera, a inicios de 1980 se llevaron a cabo varios estudios de medición para obtener concentraciones de radón en viviendas y otros edificios, determinando que el radón es uno de los principales contribuyentes para el cáncer del pulmón en la población. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el radón es la segunda causa de cáncer al pulmón en la población en general después del tabaquismo, por lo que sugiere un nivel de referencia de  $100 \text{ Bq/m}^3$  (OMS, 2015, pp. 15-20).

En este contexto, otros organismos de protección radiológica como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y la Comunidad Europea de Energía Atómica (EURATOM, Directiva 2013/59) sugieren un nivel de referencia de radón indoor de  $300 \text{ Bq/m}^3$  para viviendas y lugares de trabajo. (Euratom, 2013, pp. 7-31).

En el año 2002 se llevaron a cabo mediciones de gas radón en el interior de casas en diferentes países latinoamericanos: Ecuador ( $94,3 \text{ Bq/m}^3$ ), Brasil ( $80,94 \text{ Bq/m}^3$ ), México ( $67,29 \text{ Bq/m}^3$ ), Venezuela ( $52,5 \text{ Bq/m}^3$ ), Argentina ( $36,96 \text{ Bq/m}^3$ ) y Perú ( $32,29 \text{ Bq/m}^3$ ). En Ecuador, la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEAA) participó de este proyecto, el valor reportado fue la media de los resultados de las concentraciones medidas en 16 viviendas de la ciudad de Quito, reflejando un valor alto con respecto a los demás países que participaron en dicho proyecto. (Canoba et al. 2012, pp.453 - 457).

De lo antes indicado, es evidente la necesidad de ampliar el estudio en las diferentes regiones del Ecuador, considerando que la concentración de radón en el aire interior de una vivienda depende de muchos factores tales como: el tipo de formación geológica sobre la que se asienta la vivienda,

los materiales de construcción usados en la casa, el suministro de agua potable, las condiciones climáticas del lugar, el tipo de ventilación, el grado de aislamiento de la vivienda, las tasas de intercambio entre el aire interior y exterior, velocidad del viento entre otros.

El objetivo de la presente investigación es cuantificar la contaminación del aire por radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) en residencias de los cantones de Riobamba, Colta y Guano, mediante un monitoreo del aire interior en una muestra de residencias en cada cantón, haciendo uso del sistema de detección pasivo E-PERM-SST.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Radiactividad

La radiactividad es un fenómeno natural en donde un núcleo atómico emite uno o varios tipos de partículas, transmutándose o desexcitándose a un estado de menor energía. Los tipos más usuales son las conocidas desintegraciones  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , también la fisión y la emisión de nucleones. Dicha propiedad la adquieren unos 40 elementos de la corteza terrestre. Los más activos poseen  $Z > 80$ . Además, se han sintetizado alrededor de 2500 nucleídos artificiales, todos ellos precisamente radiactivos. Las fuentes radiactivas y los rayos cósmicos, conforman las fuentes naturales de partículas. Por el contrario, las fuentes artificiales son los aceleradores de partículas. Los fenómenos involucrados con la radiactividad han tenido una historia enriquecedora y han influido de manera directa en el incremento del entendimiento de los átomos, núcleos y partículas. Además, han servido para enriquecer una metodología de experimentación, sentando las bases de los modernos detectores.

La radiactividad se mide en becquerelios (Bq). Un becquerelio corresponde a la transformación (desintegración) de 1 núcleo atómico por segundo. La concentración de radón en el aire se mide por el número de transformaciones por segundo en un metro cúbico de aire ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ). (Soria, 2015, p.291).

#### 1.2. Radiación ionizante

La radiación ionizante se encuentra en todo lugar. Llega a partir del espacio exterior a manera de rayos cósmicos. Este se encuentra en el aire a manera de emisiones del radón radiactivo y su descendencia. Los isótopos radiactivos originados de manera natural entran y están en todos los organismos vivos. Es ineludible. De manera que, han ido evolucionando en presencia de la radiación ionizante cada una de las especies del mundo. Aun cuando los humanos están expuestos a dosis pequeñas de radiación tienen la posibilidad de no mostrar inmediatamente ningún impacto biológico, es decir que la radiación ionizante al ser suministrada en mínimas porciones puede provocar daños.

La radiación ionizante se fundamenta en partículas, la cual incorpora a los fotones, el mismo que causa la división de electrones, de átomos y moléculas. No obstante, ciertos tipos de radiación de energía son relativamente bajas, como la luz ultravioleta. Para distinguir estos tipos de radiación,

se dispone cualquier límite energético inferior para la radiación ionizante, que se frecuenta poner cerca de 10 kiloelectronvoltios (keV).

La radiación ionizante directa está constituida de partículas cargadas, que son los electrones energéticos conocidos en ocasiones como negatrones, los positrones, los protones, las partículas alfa, los mesones cargados, los muones y los iones pesados que son átomos ionizados. Esta clase de radiación ionizante interactúa con la materia más que nada por medio de la fuerza de Coulomb, que les hace repeler o atraer electrones de átomos y moléculas en función de sus cargas.

La radiación ionizante indirecta es producida por partículas sin carga. Los tipos más frecuentes de radiación ionizante indirecta son los causados por fotones con energía mayor a 10 keV los mismos que son: rayos X, rayos gamma y todos los neutrones. (Cherry, 1998, pp.48.2 - 48.3).

### **1.3. Fuentes de radiación**

La radiación está presente en todo el ambiente, proviene de distintas fuentes, ya sea, natural o artificial, a la cual están expuestos todos los seres vivos diariamente. A la radiación ionizante de origen natural, se le ha añadido la radiación ionizante artificial que el ser humano por necesidad y acoplamiento se vio obligado aprender a producir dicha radiación. Las radiaciones, natural y artificial se comportan de la misma forma. (Foro nuclear)

La radiación natural proviene de diferentes fuentes, como son 60 materiales radiactivos que están presentes en el suelo, agua y el aire. Particularmente el gas radón que emana de las rocas, tierra y es la fuente principal de radiación natural que a diario inhalamos e ingerimos por motivo que está presente en el aire, los alimentos y el agua. De tal manera también estamos expuestos a la radiación natural de los rayos cósmicos. (Foro de la industria española).

La radiación artificial va desde la producción de energía nuclear hasta el uso médico es decir para fines diagnósticos o terapéuticos. Hoy en día, las fuentes artificiales más comunes son los dispositivos médicos, como los aparatos de rayos X (OMS, 2016).

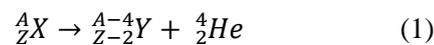
### **1.4. Decaimiento radiactivo**

Varios elementos pesados procedentes de la naturaleza presentan inestabilidad y emiten radiaciones, para originar configuraciones más estables. Los tres elementos de radiación más comunes son: el decaimiento alfa, beta y gamma. (Espinosa; & Vázquez, 2016, p. 4).

### 1.4.1. *Decaimiento alfa*

En este tipo de desintegración, el núcleo perderá dos unidades de carga y cuatro unidades de masa debido a la emisión de un átomo de helio doblemente ionizado. Dado que la partícula alfa es pesada, por lo cual en la mayoría de los materiales su rango de penetración es pequeño. Además, los procesos utilizados para la detección de partículas alfa son la ionización y la excitación. (Espinosa; & Vázquez, 2016, p. 4).

En la desintegración mencionada el número másico se lo representa con la letra **A** y atómicos con la letra **Z**, los cuales deben cumplir lo siguiente, Ecuación (1)



### 1.4.2. *Radiación gamma*

Es una onda electromagnética semejante a los rayos **X** y se diferencia de estos por originarse precisamente en el núcleo. En la mayor parte de los materiales los rayos gamma son muy penetrantes, no tienen carga ni masa, pero posee energía esto quiere decir que un núcleo al difundir rayos gamma no cambia su número atómico o número de masa, Ecuación (2). De tal modo los rayos gamma pueden interactúan con la materia en tres formas: efecto Compton, efecto fotoeléctrico y producción de pares. Dicho efecto combinado de estos procesos para determinar la energía de radiación gamma para un material está dado por el coeficiente de atenuación lineal ( $\mu$ ). En vista que al pasar por un material se reduce la intensidad de los rayos gamma, para la atenuación se utiliza una llamada ley exponencial. (Espinosa y Vázquez, 2016, pp. 4-6).



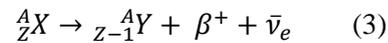
### 1.4.3. *Decaimiento beta*

Se debe al decaimiento de protones y neutrones el cual proviene del núcleo, un neutrón libre es inestable que posee un tiempo de vida media de 12 min y decae en un protón y un electrón que puede ser negatrón, o beta negativo  $\beta^-$ .

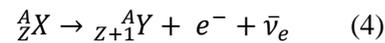
Sin embargo, las partículas beta pueden tener carga positiva o negativa y masa despreciable, además poseen una distribución de energía inicial hasta un valor máximo  $E_{\max}$ , este puede interactuar con la materia en colisiones que causan ionización y excitación, por ende es un proceso llamado Brehmsstrahlung el mismo que es considerado como frenado repentino, o al fin y al cabo participando como positrones en la colisión con un electrón para generar dos fotones que se

desplazan en direcciones opuestas. La energía más probable  $E_p$  para las partículas beta, es equivalente a un tercio de la energía máxima  $E_{max}$ . “La atenuación puede ser definida por un coeficiente de absorción lineal  $\mu$ , similar al de los rayos gamma”. (Espinoza y Vázquez, 2016, pp. 4-6). A continuación, se presentan ecuaciones (3) y (4) de los decaimientos:

**Beta positivo**



**Beta negativo**



### 1.5. Series de desintegración radiactivas

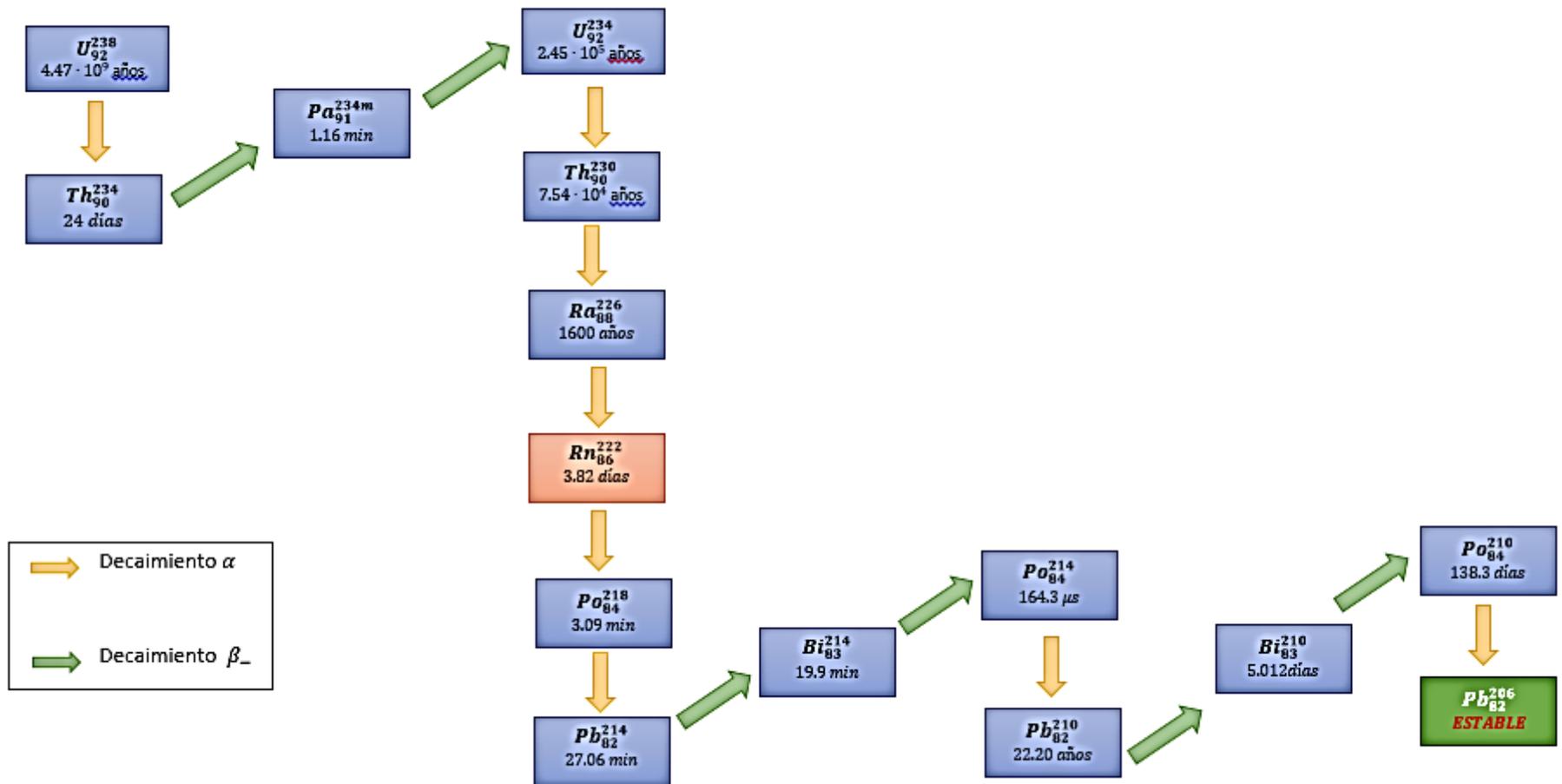
Los isótopos radiactivos naturales de los elementos más pesados descienden en cadenas de desintegraciones a través de secuencias de desintegraciones alfa y beta hasta llegar a un núcleo estable, así todas las especies de una cadena constituyen una familia radiactiva o serie de desintegraciones radiactivas.

Cada serie tiene una característica diferente es decir, posee un padre que tiene una vida media larga además de una serie de nucleídos hijos que originan un producto final estable. (Flowers et al. 2021).

Existen tres isótopos originados en diferentes cadenas de desintegración radiactiva que son:

- Serie del uranio 238 ( $U^{238}$ ) que forma el radio ( $Ra^{226}$ ) que posteriormente se transforma en radón 222 ( $Rn^{222}$ ).
- Serie del uranio 235 ( $U^{235}$ ) genera al radio 223 ( $Ra^{223}$ ) que a su vez se desintegra en radón 219 ( $Rn^{219}$ ).
- Serie del torio ( $Th^{232}$ ) genera al radio 224 que pasa a radón 220 ( $Rn^{220}$ ).

Estas tres formas químicas, las dos primeras son las que presentan mayor extensión en la naturaleza conjuntamente con el  $Rn^{222}$ , que es de verdadera importancia para la salud de las personas porque se considera como un factor de riesgo del cáncer. (Foro Nuclear).



**Figura 1-1.** Decaimiento del Uranio – 238.

Realizado por: Johana C, Kelvin C. 2021.

## 1.6. Historia del radón

Con los trabajos realizados por los esposos Curie, al momento de que el aire se pone en contacto con los compuestos del radio, este se convertía en radiactivo. Con esto pudieron verificar uno de los productos de desintegración del radio era un gas llamado radón. El radón fue descubierto en Alemania a finales del siglo XIX y principios del XX por Friedrich Ernst Dorn tras estudiar la radiación emitida por elementos radioactivos, le dieron este nombre ya que se produjo por la descomposición del isótopo del radio  $^{226}\text{Ra}$ . (Palma, 2016)

Con el pasar del tiempo su nombre iba cambiando a “emanación del radio”, “nitón”, “L-niteno”, “brillante” y en la actualidad se lo nombra “radón”. Hoy en día se conocen 16 isótopos del radón, 3 de los cuales son naturales ( $^{219}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  y  $^{226}\text{Rn}$ ) y 13 fueron sintetizados en el laboratorio ( $^{204}\text{Rn}$ ,  $^{206}\text{Rn}$ ,  $^{207}\text{Rn}$ ,  $^{208}\text{Rn}$ ,  $^{209}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Rn}$ ,  $^{211}\text{Rn}$ ,  $^{212}\text{Rn}$ ,  $^{215}\text{Rn}$ ,  $^{216}\text{Rn}$ ,  $^{217}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Rn}$  y  $^{221}\text{Rn}$ ). (Garzón, 2009, p.13)

El Radón en 1912, fue inmerso por la Comisión Internacional de Pesos Atómicos como un elemento nuevo, de tal forma que en el año 1923 concedieron los nombres de Radón (Rn), Torón (Tn) y Actinón (An), los cuales forman parte de la tabla periódica exactamente ubicados en la parte inferior, los mismos que son considerados como gases nobles. (Passarge, 2019).

### 1.6.1. *Propiedades físicas*

El radón es un gas que no tiene color, sabor, olor y al ser expuesto a temperaturas bajas en comparación de su punto de congelación ( $<-71^{\circ}\text{C}$ ), este manifiesta una brillantez fosforescente con diferentes tonos es decir amarillo y rojo-anaranjado.

Este gas es un gran solvente en compuestos orgánicos tales como hidrocarburos y especialmente en ácidos grasos, en el cual su capacidad de disolución se puede considerar proporcional a medida que aumenta la masa molecular del ácido y además es poco soluble en agua. En general, la capacidad de disolución del radón es inversamente proporcional a la temperatura.

El  $^{222}\text{Rn}$  tiene un tiempo de vida media de 3.8232 días, el mismo que se considera perjudicial para la salud al estar expuesto a altas concentraciones. (Garzón, 2009, p.15).

### 1.6.2. *Propiedades químicas*

El radón dentro de la tabla periódica se encuentra formando parte del grupo de los gases nobles el mismo que se considera como un elemento radioactivo, es inerte y no le permite reaccionar con ningún otro elemento, Este elemento posee un número atómico de 86. Y presenta propiedades en condiciones ambientales establecida en la tabla 1-1. (Garzón, 2009, p.15).

**Tabla 1-1.** Propiedades químicas del Radón.

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN
Fórmula molecular	Rn
Número atómico	86
Peso molecular	222
Configuración electrónica	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>
Niveles electrónicos	2, 8, 18, 32, 18, 8
Temperatura de fusión	-71 °C
Temperatura de ebullición	-61 °C
Densidad en estado gaseoso	9.73 g/L
Propiedades organolépticas	Incoloro, inodoro, insaboro

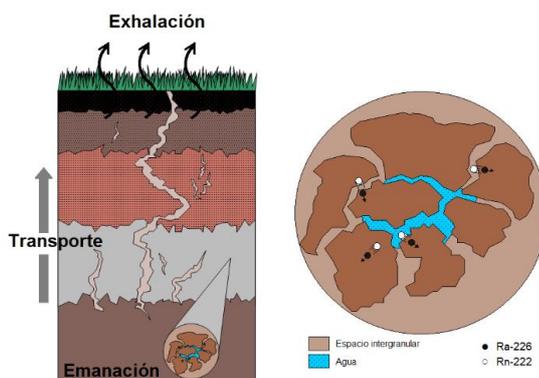
Fuente: (Garzón 2009).

Realizado por: Cabay Johana, Córdova Kelvin, 2021.

### 1.7. Transporte del radón hacia el exterior

En el ámbito de la geología del suelo se puede encontrar una diversidad, originándose una clasificación dependiendo la composición que llegan a presentar; es decir a la cantidad de minerales, porosidad y permeabilidad. Con la variedad de suelos antes mencionada es viable que por acción de decaimiento se produce diferentes elementos como es el caso del radón, el cual, a partir de la desintegración del uranio, radio entre otros es factible su presencia tanto en el suelo, agua y aire.

En los procesos de transporte de radón tenemos inmerso la emanación, difusión y exhalación; en consecuencia, a la vida media de dicho elemento es posible su presencia en diversos ambientes, a ello si le incrementamos un amplio espacio intersticial entre granos, se justifica la viabilidad que muestra para su difusión o transporte, dicho proceso se encuentra especificado en la Figura 2-1. (Delgado,2018, pp.12-13).



**Figura 2-1.** Emanación, difusión y exhalación del Rn.

Fuente: Obando, 2019.

### **1.7.1. Emanación**

Debido al decaimiento de algunos elementos radiactivos obtenemos la síntesis de radón en diferentes granos presentes en el suelo, por algunas ocasiones se tiene la existencia de este gas encapsulado en dicha matriz, es por ello que para realizar el mencionado proceso de migración del gas es indispensable que el suelo adquiera una alta porosidad; asimismo de otros factores, los cuales están especificados a continuación

- Tamaño del grano.
- Forma del grano.
- Contenido de humedad.
- Permeabilidad.

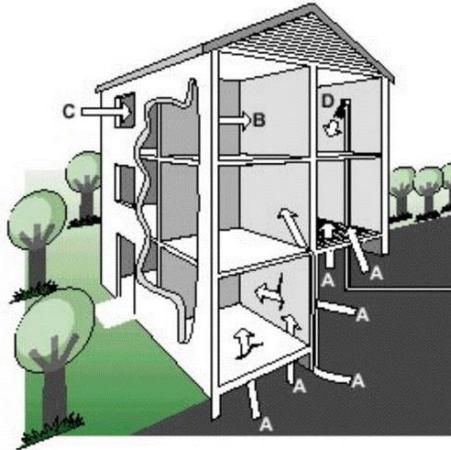
Para analizar si el radón consigue o no migrar desde el suelo hacia otra matriz se destina una magnitud conocida como emanación ( $\epsilon$ ), misma que se encuentra en un rango de 0 a 1, cuando es 0 quiere decir que el radón no escapa del material y 1 la posibilidad de que todo el radón migre. (Fuente, 2016, p.8)

### **1.7.2. Difusión**

Una vez ya generada la emanación, los átomos del radón consiguen ser dirigidos a la superficie del suelo, recurriendo al mecanismo conocido como difusión por medio del terreno, con el fin de ser liberados al aire. El mecanismo de transporte ocurre cuando un terreno posee grietas superficiales o agujeros, generando gas o disponiendo de espacios vacíos. (Fuente, 2016, p.8)

Como lo mencionamos anteriormente la difusión Figura 3-1 es otro de los mecanismos de transporte de radón dominante en la mayoría de los casos, mismo que se basa en transportar dicho gas por el suelo y con ello lograr su objetivo de alcanzar la superficie. (Fuente, 2016, p.9). Cabe recalcar que existen otros factores que pueden perjudicar la difusión los cuales son:

- Tipo de material,
- Espesor de material,
- Distribución de tamaño de poros,
- Contenido de humedad,
- Grado de compactación.



**Figura 3-1.** Difusión de Radón.

Fuente: Pérez, 2013.

### 1.7.3. *Exhalación.*

Se define como la liberación de dicho gas hacia la superficie desde el lugar de origen, esa exhalación va a estar determinada como una tasa de exhalación (E) en la que participa la concentración de radón por unidad de superficie (Lastra, 2016, p.8) Se debe tomar en cuenta que existen condiciones para una mayor o menor exhalación del gas, descritas a continuación:

- La tasa de exhalación,
- La distancia de la fuente de emanación a la superficie,
- Densidad aparente,
- La tasa de difusión

### 1.8. **Efectos biológicos por inhalación del $^{222}\text{Rn}$**

El radón al ser un elemento radiactivo presenta un gran riesgo biológico, al descomponerse en otros elementos liberando energía misma que son conocidos como “hijos del radón”, los cuales son suficientemente radiactivos para irradiar células basales sensibles, incrementando la posibilidad de originar un cáncer. Las progenies metálicas del radón (polonio, bismuto, plomo, mercurio, radio y talio) igualmente se adhieren al aire y se inhalan, posándose en el interior de los pulmones produciendo una irradiación directa en el tejido a través de partículas alfa. (Dios et al. 2002, pp.54 - 55).

Luego de una exposición de radiación podemos considerar dos etapas es decir los efectos tempranos o tardíos en la salud. Por lo regular, los efectos tempranos se observan mediante el diagnóstico de síndromes clínicos en individuos; y los efectos tardíos como el cáncer por estudios

epidemiológicos a través de la observación de un aumento en la ocurrencia de una patología en una población determinada (Lean, 1991, p.11).

### **1.9. Normativa de la Unión Europea**

La EURATOM es una Comunidad Europea de la Energía Atómica que posee tres misiones que sobresalen por su particular incidencia en el trabajo de este organismo.

- a. Establecer normas de seguridad uniformes para la protección radiológica de la población y de los trabajadores, velando por su aplicación.
- b. Avalar mediante controles apropiados que los materiales nucleares no estarán siendo utilizados para fines distintos.
- c. Estar de acuerdo con los demás países y con sus organizaciones internacionales aquellas relaciones que promuevan el progreso en la utilización pacífica de la energía nuclear.

En los Artículo 74 (Exposición al radón en lugares cerrados) y 54 (Radón en los lugares de trabajo) de la EURATOM establece que los nacionales de referencia anual para las concentraciones de radón en estos espacios no deben sobrepasar los  $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$  (Euratom, 2013, pp.7-31).

### **1.10. Comisión Internacional de Protección Radiológica**

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) es una organización no gubernamental independiente legitimada en 1928 por el Congreso Internacional de Radiología para fomentar la protección radiológica en favor de la población, especificando las características de la exposición al radón. La ICRP propone recomendaciones y orientación sobre los riesgos incorporados a la radiación ionizante de fuentes artificiales considerablemente utilizadas en la medicina, la industria general, las empresas nucleares, y de fuentes naturales. La Comisión sugirió, un nivel de referencia de  $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$  para viviendas y lugares de trabajo, que corresponde a una dosis anual de aproximadamente 10 mSv. (ICRP, 2014, pp. 13-24).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Descripción del área de estudio

El radón-222 es un peligroso contaminante del aire y se encuentra presente en nuestros hogares. La presente investigación estudia la presencia del radón en una muestra de residencias de los cantones de Riobamba, Colta y Guano, pertenecientes a la provincia de Chimborazo-Ecuador. La provincia de Chimborazo está ubicada en la zona central del pasillo interandino, reconocida como la provincia de las altas cumbres, ya que en ella podemos descubrir las cumbres más altas del país, como es el caso del Carihuayrazo, Altar, Igualata, Tungurahua, Sangay, entre otros, uno de los lugares turísticos y representativos de la provincia es el volcán Chimborazo, de ahí su nombre, dicho volcán posee con una altura de 6.310 msnm, siendo la mayor elevación del país. Esta provincia tiene una superficie aproximada a los 6.500 km<sup>2</sup>, con una población total de 509.352 habitantes, lo cual esto la coloca en la novena provincia más poblada de la República Ecuador. La capital de la provincia es la ciudad de Riobamba (Prefectura de Chimborazo, 2019).

Riobamba es conocida como "Cuna de la Nacionalidad Ecuatoriana", "Sultana de los Andes", "Ciudad Bonita", "Ciudad de las Primicias" y "Corazón de la Patria", ubicada en el centro de la República Ecuador, con una temperatura promedio de 13°C y una latitud de 2.754 msnm, con una extensión de 5.637 km<sup>2</sup>; este cantón posee 16 parroquias organizadas en 5 parroquias urbanas (Maldonado, Veloz, Lizarzaburu, Velasco y Yaruquíes) y 11 rurales (San Juan, Licto, Calpi, Quimiag, Flores, Punín, Cubijés, San Luis, Pungalá, Licán y Cacha) (Historia de Riobamba, 2020).

En el cantón Riobamba se monitoreó una muestra de 15 viviendas, 6 en la parroquia Lizarzaburu, 5 en la parroquia Velasco, 1 en la parroquia Maldonado, 2 en la parroquia Calpi y 1 en la parroquia Licán.

El cantón Colta conocido comúnmente como "Colta Cuna de la Nacionalidad Ecuatoriana" "Capital de la Gran Nación Puruhá", "Corazón de la civilización Andina y Patrimonio Cultural de los Ecuatorianos", está situado al noroccidente de la provincia de Chimborazo, con una población de 44.971 habitantes, posee una extensión de 850 km<sup>2</sup>; cuya altitud oscila entre 2.750 a 3.400 msnm; y una temperatura promedio de 12°C. Este cantón contiene cinco parroquias, una urbana y cuatro rurales. Parroquia urbana: Villa La Unión, comprendida por Cajabamba y Sicalpa. Parroquias rurales: Cañi, Columbe, Juan de Velasco y Santiago de Quito. (Viteri, 2016, pp. 4-6).

Quince casas fueron monitoreadas en el cantón Colta, 9 en Villa la Unión (9 en Cajabamba y 6 en Sicalpa).

Guano es conocida como la “Capital Artesanal del Ecuador”, está localizada al norte de la Provincia de Chimborazo, con una superficie de  $472 \text{ km}^2$  y una población aproximada a los 42.851 habitantes, posee una altitud que va desde los 2.000 hasta los 6.310 *msnm*, lo cual hace que posea una temperatura promedio es de  $16^\circ\text{C}$ . Se encuentra constituida por 11 parroquias, 2 urbanas: La Matriz y el Rosario y 9 parroquias rurales: San Andrés, San Isidro, Ilapo, San Gerardo, Guanando, San José de Chazo, Santa Fe de Galán, La Providencia y Valparaíso. (Ecuadesigners, 2010).

En el cantón Guano se monitoreó 5 casas en la parroquia urbana la Matriz y 10 en la parroquia rural San Andrés.

## 2.2. Descripción del sistema de medición

Las mediciones de la concentración de radón en las residencias de los cantones Riobamba, Colta y Guano se realizó con el sistema de detección E-PERM, fabricado y comercializado por Rad Elec Inc., utiliza la tecnología Electret Ion Chamber (EIC). Este sistema es considerado como el más versátil del mercado, capaz de ejecutar distintas pruebas de corto y largo plazo en una extensa gama de condiciones ambientales.

El sistema de medición de radón E-PERM está conformado por el detector (Electret) una cámara de ionización y el lector de voltaje del electret (Ver Figura 1-2). A continuación, se detalla los componentes.



**Figura 1-2.** Sistema de medición de radón E-PERM.

**Realizado por:** Cabay, J.; Córdova, K. 2021.

### Electrets

Son discos de teflón cargados electrostáticamente, se fabrican de dos tipos:

Electrets Short Term (ST), utilizados para mediciones de corta duración, se pueden utilizar en un periodo de 2 a 7 días, tienen un espesor de 0.152 cm, presentan una alta sensibilidad y se identifican con el color azul de su sello, el disco de teflón es de color blanco, el material usado para la fabricación es politetrafluoroetileno (Figura 2-2).

Electrets Long Term o larga duración, usados para mediciones de 1 a 12 meses, tienen un espesor de 0.0127cm, son menos sensibles que los Short Term y se los distingue por su sello rojo y su disco de teflón de color dorado cuyo material es el tetrafluoroetileno (Figura 2-2) (Garzón, 2009, p.21).

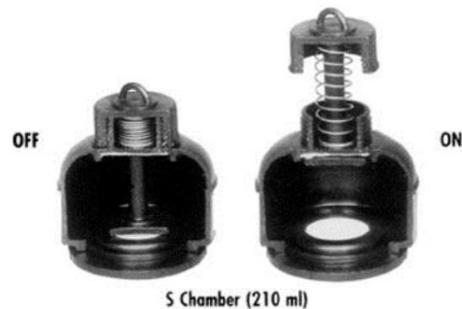


**Figura 2-2.** Electrets Short y Long Term.

Realizado por: Cabay, J.; Córdova, K. 2021.

## Cámara S

La empresa Rad Elec Inc. produce varios tipos de cámaras de ionización, en esta investigación se utilizó la cámara modelo S, hecha de plástico, posee un volumen de 210 ml y cuenta con un mecanismo de *encendido / apagado*, la Figura (3-2) muestra a la derecha la cámara apagada y a la izquierda la cámara encendida. Cuando se atornilla un Electret Short Term en la base de la cámara S, el sistema de detección se denomina E-PERM SST (Frederick, p.10).

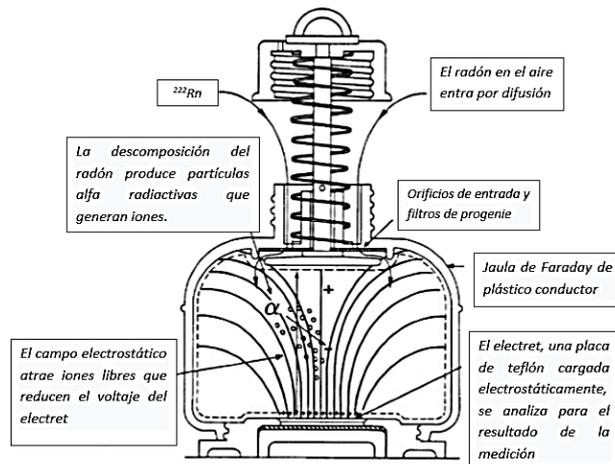


**Figura 3-2.** Esquema de la cámara “S”.

Realizado por: Cabay, J.; Córdova, K. 2021.

El principio de funcionamiento del sistema E-PERM SST es el siguiente:

El aire de la vivienda o lugar de trabajo, enriquecido con radón, entra por difusión a la cámara a través de los orificios situados en la parte superior, mismos que están dotados con filtros para evitar el ingreso de la progenie del radón. En el interior de la cámara, la desintegración del radón y su progenie ioniza el aire, los iones negativos son atraídos por el Electret cargado positivamente, mientras que los iones positivos se dirigen a la pared de la cámara para posteriormente disiparse. La disminución de voltaje del Electret es proporcional a la concentración de radón y al tiempo de exposición. (Manual sistema E-PERM). La Figura (4-2) visualiza el funcionamiento del sistema de detección.



**Figura 4-2.** Esquema del funcionamiento del sistema E-PERM SST.

Realizado por: Cabay, J.; Córdova, K. 2021.

### Lector de voltaje de los Electrets

El lector de voltaje SPER-1E es el último modelo de la Rad Elec Inc (Ver Figura 5-2), consta de una pantalla, un plato para colocar el detector, una manija del obturador y baterías externas. Este es el componente central del sistema E-PERM, permite leer el voltaje en la superficie de cualquier Electret, viene con un estuche de transporte seguro, un juego de dos electretos de referencia y un Electret de puesta a cero.



**Figura 5-2.** Lector voltaje para Electrets, modelo SPER-1E.

Realizado por: Cabay, J.; Córdova, K. 2021.

### 2.3. Protocolo de monitoreo y medición de radón-222 en interiores

El protocolo de muestreo y medición que se presenta en este trabajo de titulación es un procedimiento estándar para determinar la concentración de la actividad de radón en interiores, en el marco de proyecto de investigación “Evaluación de elementos radiactivos de la serie del

uranio 238 en el ambiente y en pacientes con cáncer” ejecutado por el Grupo de Investigación GIDAC\_ESPOCH. Los procedimientos están basados en varias publicaciones realizadas por el inventor del sistema de detección E-PERM (Payasada Kotrappa), las guidelines de Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos y recomendaciones basadas en la experiencia de los expertos.

A continuación, se presenta el protocolo que fue aplicado en el monitoreo de las cuarenta y cinco casas de los cantones de Riobamba, Colta y Guano.

### **2.3.1. Preparación y montaje**

La preparación del sistema de detección se realizó en el laboratorio de Técnicas Nucleares de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y consiste en las siguientes etapas:

- Limpiar de la cámara (polvo, líquidos derramados, etc.)
- Medir del voltaje inicial del Electret y posterior colocación en la base de la cámara cerrada.
- Colocar una etiqueta única en la cámara que identifique el lugar, casa, persona que realiza el monitoreo y fecha de inicio de la medida.
- Transportar el sistema de detección, de preferencia dentro de una funda plástica resellable “Ziploc” mediana, de 18 X 20 cm o similares. Especial cuidado se debe tener en el transporte para que el sistema no sufra golpes.
- Registrar el código del Electret, voltaje inicial y código de la cámara, en el Log Book, antes de salir del laboratorio.

### **2.3.2. Posicionamiento del sistema E-PERM**

Las mediciones deben realizarse en el nivel más bajo de la casa y en una habitación que se utiliza regularmente. Las áreas de prueba incluyen habitaciones familiares, salas de estar, salas de juegos y dormitorios. Si hay niños en el hogar, puede ser apropiado medir la concentración de radón en sus dormitorios o en otras áreas donde pasan mucho tiempo, como una sala de juegos, que se encuentren en los niveles más bajos de la casa.

Una vez en la vivienda donde se colocará el detector, se procede de la siguiente manera:

- Compilar la ficha técnica del Anexo 2 que se refiere a datos de la vivienda (casa, edificio, número de pisos, etc) características de la construcción (año de construcción, materiales usados, tipo de terreno en la cual está edificada, etc.), presencia de planta de climatización, presencia de grietas en las paredes. Dato importante es la georreferenciación de la casa.
- Colocar el E-PERM SST (tiempo de medición de 2 a 7 días) abierto en el lugar donde se efectuará la medida. Registre el código y la fecha y la hora de inicio de la medida. El sistema

de detección debe ubicarse en un lugar seguro (sin riesgo de golpes, manipulación, etc.); y evitar moverlo, debe fijarse en el punto de medición.

- Se recomienda colocar el sistema de detección al menos a 30 cm de las paredes y al menos a 1.5 metros del piso y el techo. Al menos 1 metro de puertas y ventanas u otras posibles aberturas al exterior y al menos a 10 centímetros de otros objetos.

### 2.3.3. Finalización de la medida

Una vez transcurrido el tiempo de exposición, se cierra la cámara (posición apagada) y se retira el sistema, registrando la fecha y hora del fin de la medición y el voltaje final del Electret. En el caso de que la medida del voltaje final no se realice in situ, se debe transportar la cámara con el Electret incorporado. En el laboratorio se finalizará el procedimiento. El transporte se debe realizar con las indicaciones antes mencionadas.

### 2.3.4. Cálculo de la concentración de radón-222

La cuantificación de la concentración de radón en el aire interior de la vivienda se realiza mediante la Ecuación (5) (Kotrappa et al. 1990, pp. 2-3).

$$RnC = \frac{(V_i - V_f)}{(T) \times (CF)} - BG * C \quad (5)$$

Donde:

- **RnC**: Es la concentración de radón en  $Bq/m^3$
- **$V_i$  y  $V_f$** : son los voltajes inicial y final del Electret, respectivamente.
- **T**: es el período de exposición en días.
- **CF**: Factor de calibración, se calcula con la Ecuación (6)

$$CF(ST) = 0.04241 + 0.0000338 \times \frac{(V_i + V_f)}{2} \quad (6)$$

- **BG**: es la concentración del  $^{222}\text{Rn}$  equivalente a la radiación Gamma de fondo.

La radiación gamma es una de las principales fuentes de exposición a la radiación ionizante a la que contribuyen los elementos radiactivos naturales que abarca la corteza terrestre y, en menor medida, la radiación cósmica (Consejo de seguridad nuclear).

Se utilizó el espectrómetro ATOMTEX modelo AT6102 que son monitores de radiación multifuncionales portátiles de un solo bloque, empleados para detectar fuentes de radiación gamma con identificación automática de radionucleidos y la medición de la tasa equivalente de dosis ambiental de radiación gamma y su unidad de medida es  $\mu Sv/h$  (Direct industry).

Para adquirir los valores del fondo gamma de cada cantón se realizó una medición prolongada de cinco minutos en el interior de una de las viviendas, posteriormente se realizó una media de todos los datos obtenidos durante el tiempo expuesto, así se obtuvo el valor medio en Riobamba (0.08089  $\mu Sv/h$ ), Colta (0.0700  $\mu Sv/h$ ) y Guano (0.05453  $\mu Sv/h$ ), después se realizó una conversión de dosis absorbida de radiación de  $\mu Sv/h$  a  $\mu Gy/h$ . Finalmente se obtienen los valores de Background para los cantones Riobamba (26  $Bq/m^3$ ), Colta (22  $Bq/m^3$ ) y Guano (17  $Bq/m^3$ ), utilizando la ecuación (7). (Kotrappa et al. 1990, p.463).

$$BG = Fondo\ Gamma\ \mu Gy/h \times \frac{32\ Bq/m^3}{0.1\ \mu Gy/h} \quad (7)$$

- **C:** factor de corrección por elevación para la cámara “S”, se determina con la Ecuación (8) (Kotrappa; & Stieff, 1992, p.84).

$$C = 0.77 + 6.30 \times \frac{H}{30480}; \text{ Donde H es la altitud de la casa.} \quad (8)$$

### 2.3.5. Recomendaciones generales

- Lugares no adecuados para la medición son normalmente: lugares de alta ventilación (ejemplo, la cocina); o aquellos con permanencia reducida (baño, pasillos, la bodega).
- El detector no debe colocarse al interior de armarios, cerca de fuentes de calor (estufas, calefactores, rejillas de ventilación, lugares donde los rayos del sol dan directamente, por ejemplo, detrás de las ventanas).
- No colocar el sistema de detección sobre materiales, que, según la literatura científica, tienen alta exhalación de radón, como por ejemplo el granito.

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Características de las residencias monitoreadas

En concordancia al protocolo de monitoreo y medición de radón-222 en viviendas, presentado en la Sección (2.3), la Tabla (1-3) muestra información sobre las residencias monitoreadas en el cantón Riobamba, en particular se indica la parroquia, edad de la casa, planta y habitación donde se colocó el detector, número de habitantes, materiales del piso y paredes y la altitud de la vivienda. La Tabla (2-3) y (2-4) visualiza la información antes mencionada para las viviendas estudiadas en el cantón Colta y Guano.

En el cantón Riobamba, el sistema de detección E-PERM ST se colocó en once dormitorios ubicados en el primer piso de las casas, tres dormitorios situados en el segundo piso y un dormitorio ubicado en el subterráneo. En el cantón Colta, el sistema de detección E-PERM ST se colocó en ocho dormitorios (seis ubicados en el primer piso y dos en el segundo piso de la casa), cinco se colaron en la sala en el primer piso, uno en un local situado en el subterráneo y uno en una oficina en el primer piso. En el cantón Guano, el sistema de detección E-PERM ST se colocó en doce dormitorios (diez ubicados en el primer piso y dos en el segundo piso de la casa), tres se colaron en la sala (uno en la primera planta y dos en la segunda).

Las paredes de la mayoría de las casas son hechas con ladrillo o bloque, pero se pudo observar una casa en San Andrés y una en Guano con las paredes de piedra; así mismo una casa en San Andrés y dos casas en Cajabamba con las paredes de adobe. El piso de las casas es de madera, baldosa o únicamente cemento.

**Tabla 1-3.** Características de las residencias monitoreadas en el cantón Riobamba.

<b>N°</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>PARROQUIA</b>	<b>LOCALIZACIÓN DE LA RESIDENCIA (BARRIO)</b>	<b>ANTIGÜEDAD DE LA VIVIENDA</b>	<b>NÚMERO DE HABITANTES</b>	<b>PLANTA DE UBICACIÓN DEL DETECTOR</b>	<b>TIPO DE HABITACIÓN</b>	<b>MATERIALES DE LAS PAREDES</b>	<b>MATERIAL DEL PISO</b>	<b>ALTITUD DE LA VIVIENDA</b>
1	RMB-01	Lizarzaburu	Cdla. 9 de Octubre	18	4	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	2769
2	RMB-02	Lizarzaburu	Cdla. 9 de Octubre	20	4	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	2766
3	RMB-03	Lizarzaburu	Coop. Modesto Arrieta	9	4	Segunda	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	2858
4	RMB-04	Lizarzaburu	Santa Ana	3	5	Segunda	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	2875
5	RMB-05	Velasco	11 de Noviembre	1	3	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	2769
6	RMB-06	Velasco	11 de Noviembre	2	5	Segunda	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	2769
7	RMB-07	Velasco	11 de Noviembre	12	3	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	2769
8	RMB-08	Velasco	Vicente Rocafuerte	40	5	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	2780

9	RMB-09	Licán	24 de mayo	40	2	Primera	Dormitorio	Bloque, concreto.	Mármol	2827
10	RMB-10	Maldonado	Bellavista	47	4	Primera	Dormitorio	Bloque, concreto.	Madera	2749
11	RMB-11	Lizarzaburu	Santa Ana	11	2	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Cemento	2900
12	RMB-12	Calpi	Jesús del Gran Poder	30	9	Subterráneo	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	3187
13	RMB-13	Velasco	Calzado libre	50	2	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Baldosa	2762
14	RMB-14	Calpi	Central	40	1	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Cemento	3084
15	RMB-15	Lizarzaburu	Santa Ana	16	4	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	2901

**Realizado por:** Cabay Johana, Córdova Kelvin, 2021.

**Tabla 2-3.** Característica de las residencias del cantón Colta.

<b>N°</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>PARROQUIA</b>	<b>LOCALIZACIÓN DE LA RESIDENCIA (BARRIO)</b>	<b>ANTIGÜEDAD DE LA VIVIENDA</b>	<b>NÚMERO DE HABITANTES</b>	<b>PLANTA DE UBICACIÓN DEL DETECTOR</b>	<b>TIPO DE HABITACIÓN</b>	<b>MATERIALES DE LAS PAREDES</b>	<b>MATERIAL DEL PISO</b>	<b>ALTITUD DE LA VIVIENDA</b>
1	CTA-01	Cajabamba	Misquillí	7	2	Subterráneo	Local	Ladrillo, concreto.	Baldosa	3197
2	CTA-03	Cajabamba	San Sebastián	108	2	Primera	Dormitorio	Adobe, aconcagua.	Madera	3213
3	CTA-02	Cajabamba	San Sebastián	5	4	Segunda	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	3224
4	CTA-04	Cajabamba	San Sebastián	6	2	Primera	Sala	Ladrillo, concreto.	Baldosa	3198
5	CTA-05	Cajabamba	San Sebastián	110	2	Primera	Dormitorio	Adobe	Madera	3187
6	CTA-06	Cajabamba	Av. Unidad Nacional	5	3	Primera	Oficina	Ladrillo, vidrio concreto.	Baldosa	3207
7	CTA-07	Cajabamba	Eloy Alfaro	50	5	Primera	Dormitorio	Bloque, concreto.	Madera	3118
8	CTA-08	Cajabamba	Eloy Alfaro	12	4	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Cemento	3161

9	CTA-09	Cajabamba	Eloy Alfaro	11	5	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Cemento	3139
10	CTA-10	Sicalpa	Central	35	3	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	3298
11	CTA-11	Sicalpa	Central	33	3	Primera	Sala	Ladrillo, concreto.	Madera	3303
12	CTA-12	Sicalpa	Central	31	4	Primera	Sala	Ladrillo, concreto.	Baldosa	3299
13	CTA-13	Sicalpa	Central	24	3	Segunda	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	3317
14	CTA-14	Sicalpa	Central	50	4	Primera	Sala	Ladrillo, concreto.	Madera	3313
15	CTA-15	Sicalpa	Central	5	4	Primera	Sala	Ladrillo, concreto.	Madera	3322

**Realizado por:** Cabay Johana, Córdova Kelvin, 2021.

**Tabla 3-3.** Característica de las residencias del cantón Guano.

N°	CÓDIGO	PARROQUIA	LOCALIZACIÓN DE LA RESIDENCIA	ANTIGÜEDAD DE LA VIVIENDA	NÚMERO DE HABITANTES	PLANTA DE UBICACIÓN DEL DETECTOR	TIPO DE HABITACIÓN	MATERIALES DE LAS PAREDES	MATERIAL DEL PISO	ALTITUD DE LA VIVIENDA
1	GNO-01	La Matriz	San Pedro	15	5	Segunda	Sala	Ladrillo, concreto.	Baldosa	2708
2	GNO-02	La Matriz	San Pedro	30	3	Primera	Dormitorio	Concreto, piedra	Madera	2706
3	GNO-03	La Matriz	Santa Teresita	16	5	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Baldosa	2626
4	GNO-04	La Matriz	Santa Teresita	10	3	Segunda	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Baldosa	2671
5	GNO-05	La Matriz	Santa Teresita	30	3	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	2666
6	GNO-06	San Andrés	El centro	50	2	Primera	Dormitorio	Adobe	Madera	3065
7	GNO-07	San Andrés	El centro	10	3	Primera	Dormitorio	Bloque y concreto	Baldosa	3074
8	GNO-08	San Andrés	El centro	42	1	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	3087

9	GNO-09	San Andrés	El centro	11	6	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Baldosa	2833
10	GNO-10	San Andrés	El centro	14	3	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Cemento	2807
11	GNO-11	San Andrés	El mirador	30	3	Segunda	Dormitorio	Ladrillo, piedra y concreto	Madera	3064
12	GNO-12	San Andrés	La merced	40	4	Primera	Sala	Ladrillo, concreto.	Baldosa	3087
13	GNO-13	San Andrés	El centro	12	3	Primera	Sala	Ladrillo, concreto.	Cemento	3068
14	GNO-14	San Andrés	La libertad	5	4	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Baldosa	2832
15	GNO-15	San Andrés	Sigsipamba	2	4	Primera	Dormitorio	Ladrillo, concreto.	Madera	3037

Realizado por: Cabay Johana, Córdova Kelvin, 2021.

### 3.2. Concentración de radón-222 en las residencias monitoreadas en el cantón Riobamba

La Tabla (4-3) presenta las concentraciones de radón en el aire interior de las 15 casas ubicadas en las diferentes parroquias del cantón Riobamba, el valor más bajo ( $25 \text{ Bq/m}^3$ ) se observó en un dormitorio de la planta baja de una casa de la parroquia Lizarzaburu en el barrio Santa Ana y la concentración más alta ( $53 \text{ Bq/m}^3$ ) en un dormitorio subterráneo de la parroquia Calpi en el barrio Jesús del Gran Poder.

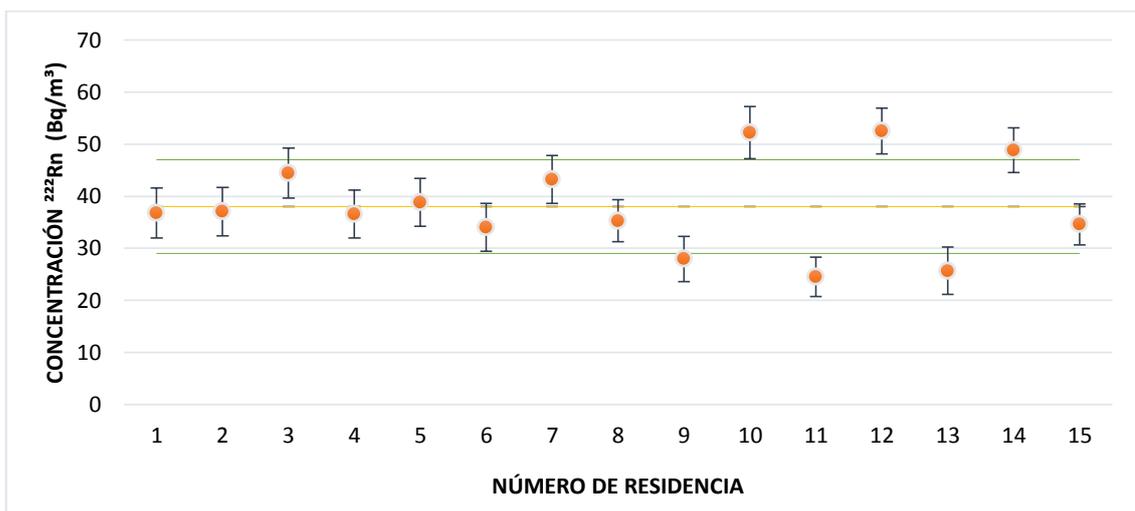
**Tabla 4-3.** Concentración de  $^{222}\text{Rn}$  en una muestra de residencias del cantón Riobamba.

<b>CÓDIGO</b>	<b>UBICACIÓN DEL SISTEMA E-PERM</b>	<b>CONCENTRACIÓN <math>^{222}\text{Rn}</math> <math>\text{Bq/m}^3</math></b>	<b>ERROR ABSOLUTO <math>\text{Bq/m}^3</math></b>	<b>ERROR RELATIVO %</b>
RMB-1	Dormitorio – planta baja	37	5	13
RMB-2	Dormitorio – planta baja	37	5	13
RMB-3	Dormitorio – planta alta	44	5	11
RMB-4	Dormitorio – planta alta	37	5	13
RMB-5	Dormitorio – planta baja	39	5	12
RMB-6	Dormitorio – planta alta	34	5	14
RMB-7	Dormitorio – planta baja	43	5	11
RMB-8	Dormitorio – planta baja	35	4	11
RMB-9	Dormitorio – planta baja	28	4	16
RMB-10	Dormitorio – planta baja	52	5	10
RMB-11	Dormitorio – planta baja	25	4	16

RMB-12	Dormitorio – planta baja	53	4	8
RMB-13	Dormitorio – planta baja	26	5	18
RMB-14	Dormitorio – planta baja	49	4	9
RMB-15	Dormitorio – planta baja	35	4	11

Realizado por: Cabay Johana, Córdova Kelvin, 2021.

El Gráfico (1-3) visualiza los resultados de la Tabla (4-3), la línea naranja representa el valor medio de las concentraciones ( $38 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ), las líneas verdes son los valores de la media más y menos una desviación estándar ( $9 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ). Es evidente que las concentraciones de gas radón de las casas de la 10 y 12 están sobre la franja, es decir son valores altos respecto al valor medio. Aspectos importantes para resaltar son que en las casas 10 el detector fue ubicado en un dormitorio de la planta baja con paredes de bloque y piso de madera y en la casa 12 el detector fue colocado en un dormitorio subterráneo con paredes de ladrillo y piso de madera.



**Gráfico 1-3.** Concentraciones de radón en una muestra de quince casas ubicadas en diferentes parroquias del cantón Riobamba.

Realizado por: Johana C., Kelvin C. 2021.

### 3.3. Concentración de radón-222 en las residencias monitoreadas en el cantón Colta

La Tabla (5-3) muestra las concentraciones de radón en el aire interior de las 15 casas ubicadas en las diferentes parroquias del cantón Colta, el valor más bajo ( $19 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ) se observó en un

dormitorio de la planta baja, en la parroquia Cajabamba en el barrio Eloy Alfaro y la concentración más alta ( $84 \text{ Bq/m}^3$ ) en la sala ubicada en la planta baja de una casa de la parroquia de Sicalpa del barrio Central.

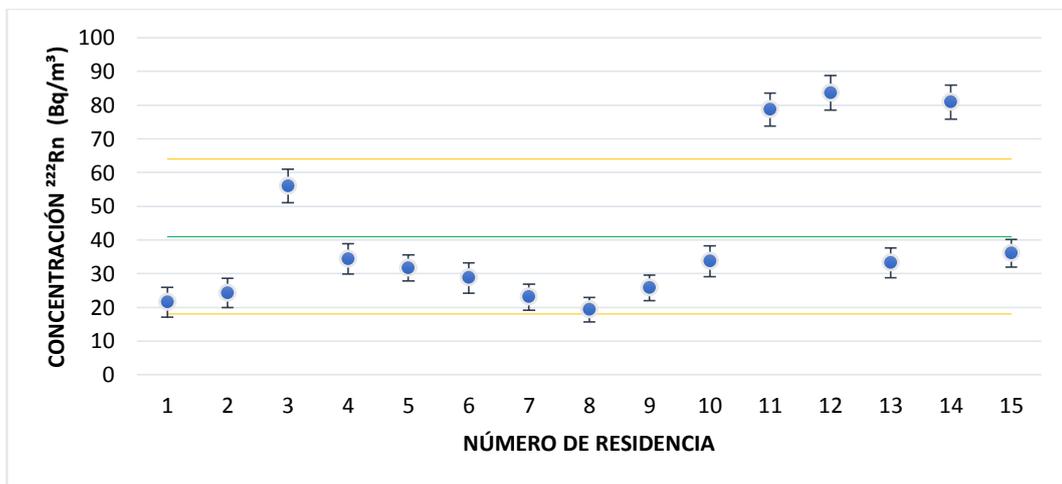
**Tabla 5-3.** Concentración de  $^{222}\text{Rn}$  en una muestra de residencias del cantón Colta.

<b>CÓDIGO</b>	<b>UBICACIÓN DEL SISTEMA E-PERM</b>	<b>CONCENTRACIÓN <math>^{222}\text{Rn}</math> <math>\text{Bq/m}^3</math></b>	<b>ERROR ABSOLUTO <math>\text{Bq/m}^3</math></b>	<b>ERROR RELATIVO %</b>
CTA-1	Local - subterráneo	22	4	21
CTA-2	Dormitorio – planta baja	24	4	18
CTA-3	Dormitorio – planta alta	56	5	9
CTA-4	Sala – planta baja	34	4	13
CTA-5	Dormitorio – planta baja	32	4	12
CTA-6	Oficina – planta baja	29	4	16
CTA-7	Dormitorio – planta baja	23	4	17
CTA-8	Dormitorio – planta baja	19	4	21
CTA-9	Dormitorio – planta baja	26	4	15
CTA-10	Dormitorio – planta baja	34	5	14
CTA-11	Sala – planta baja	79	5	6
CTA-12	Sala – planta baja	84	5	6

CTA-13	Dormitorio – planta alta	33	4	13
CTA-14	Sala – planta baja	81	5	6
CTA-15	Sala – planta baja	36	4	11

Realizado por: Cabay Johana, Córdova Kelvin, 2021.

El Gráfico (2-3) presenta los resultados de la Tabla (5-3), la línea verde representa el valor medio de las concentraciones ( $41 \text{ Bq/m}^3$ ), las líneas amarillas son los valores de la media más y menos una desviación estándar ( $23 \text{ Bq/m}^3$ ). En este cantón se observa una amplia variabilidad en los resultados. Es evidente que las concentraciones de gas radón en las casas 11, 12 y 14 están fuera de la franja; es decir, son valores altos respecto a la media. Aspecto importante para resaltar es que las mediciones se realizaron en las salas ubicadas en la planta baja de las viviendas, por lo que resultará interesante hacer una medición en uno de los dormitorios. En estas casas las paredes son de ladrillo y el piso de madera y baldosa.



**Gráfico 2-3.** Concentraciones de radón-222 en una muestra de 15 casas ubicadas en el cantón Colta.

Realizado por: Johana C., Kelvin C. 2021.

### 3.4. Concentración de radón-222 en las residencias monitoreadas en el cantón Guano

La Tabla (6-3) muestra las concentraciones de radón en el aire interior de 15 casas ubicadas en diferentes parroquias del cantón Guano, el valor más bajo ( $23 \text{ Bq/m}^3$ ) se observó en un dormitorio de la planta baja de una casa ubicada en la parroquia San Andrés en el barrio El Centro y la concentración más alta ( $72 \text{ Bq/m}^3$ ) en un dormitorio de la planta baja de una

vivienda, en la parroquia San Andrés, barrio El Centro.

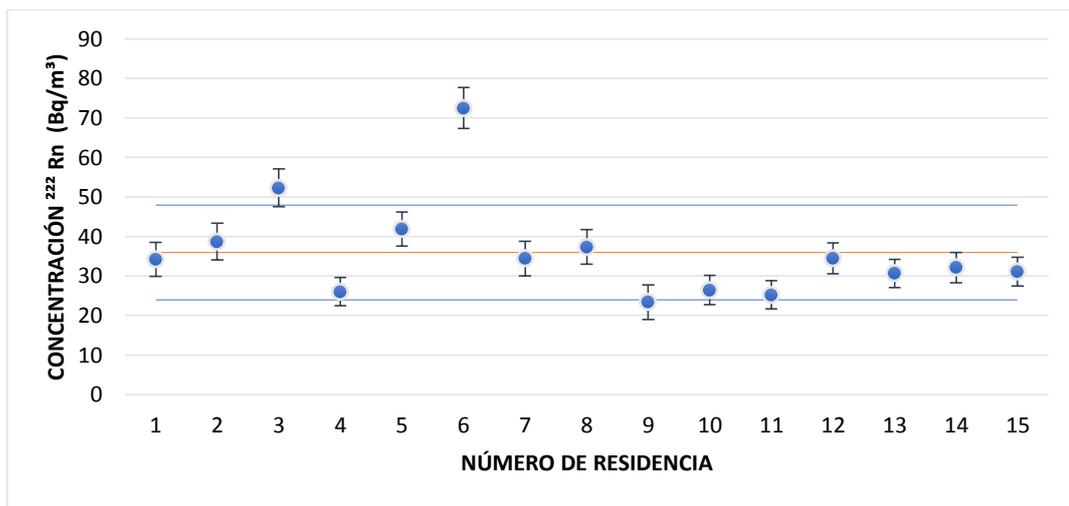
**Tabla 6-3.** Concentración de  $^{222}\text{Rn}$  en una muestra de residencias del cantón Guano.

<b>CÓDIGO</b>	<b>UBICACIÓN DEL SISTEMA E-PERM</b>	<b>CONCENTRACIÓN <math>^{222}\text{Rn}</math> <math>\text{Bq}/\text{m}^3</math></b>	<b>ERROR ABSOLUTO <math>\text{Bq}/\text{m}^3</math></b>	<b>ERROR RELATIVO %</b>
GNO-1	Sala – planta alta	34	4	13
GNO-2	Dormitorio – planta baja	39	5	12
GNO-3	Dormitorio – planta baja	52	5	9
GNO-4	Dormitorio – planta alta	26	4	14
GNO-5	Dormitorio – planta baja	42	4	10
GNO-6	Dormitorio – planta baja	72	5	7
GNO-7	Dormitorio – planta baja	34	4	13
GNO-8	Dormitorio – planta baja	37	4	12
GNO-9	Dormitorio – planta baja	23	4	19
GNO-10	Dormitorio – planta baja	26	4	14
GNO-11	Dormitorio – planta alta	25	4	14
GNO -12	Sala – planta baja	34	4	11
GNO-13	Sala – planta baja	31	4	12
GNO-14	Dormitorio – planta baja	32	4	12

GNO-15	Dormitorio – planta baja	31	4	12
--------	-----------------------------	----	---	----

Realizado por: Cabay Johana, Córdova Kelvin, 2021.

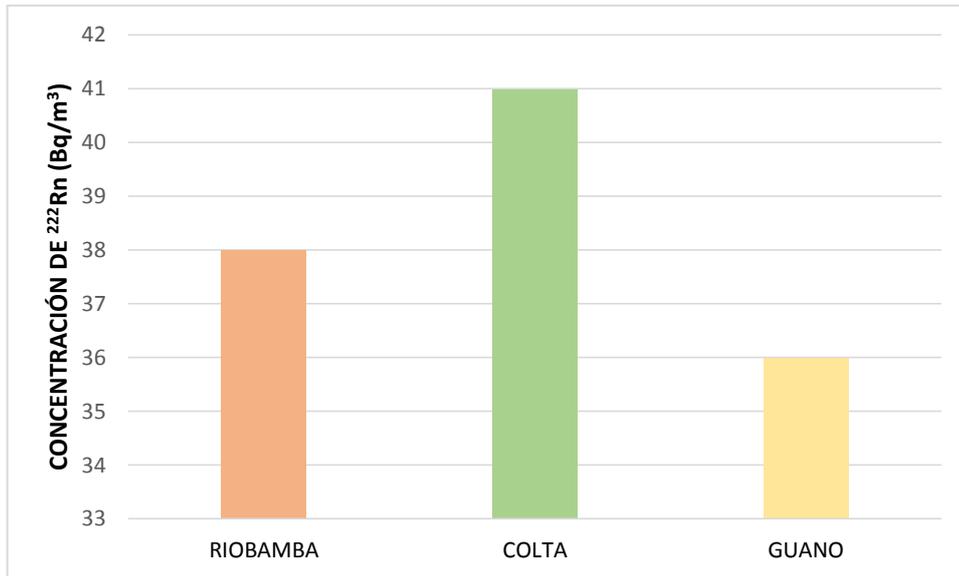
El Gráfico (3-3) presenta los resultados de la Tabla (6-3), la línea naranja representa el valor medio de las concentraciones ( $36 \text{ Bq/m}^3$ ), las líneas azules son los valores de la media más y menos una desviación estándar ( $12 \text{ Bq/m}^3$ ). Es evidente que las concentraciones de gas radón en la casa 6 está fuera de la franja; es decir presenta un valor de concentración alto respecto a la media, esta vivienda fue descrita en el párrafo anterior y aquí se añadirá una característica interesante, las paredes son de adobe y tiene 50 años de antigüedad.



**Gráfico 3-3.** Concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  en una muestra de 15 casas del cantón Guano.

Realizado por: Johana C., Kelvin C. 2021.

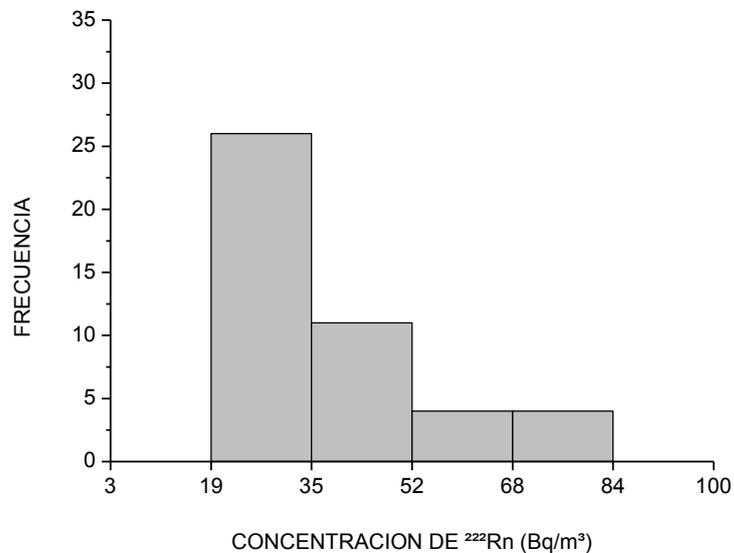
El Gráfico (4-3) compara las concentraciones medias de radón en los cantones Riobamba, Colta y Guano, es evidente que Colta presenta el valor medio más alto, seguido por Riobamba y Guano.



**Gráfico 4-3.** Comparación de concentraciones medias de radón en los cantones Riobamba, Colta y Guano.

Realizado por: Johana C., Kelvin C. 2021.

Una panorámica del estudio exploratorio, sobre la concentración de radón indoor, en una muestra de cuarenta y cinco viviendas de los cantones Riobamba, Colta y Guano (quince casas por cantón) se visualiza en el histograma del Gráfico (5-3), es evidente que más del 50% de las viviendas monitoreadas presentan una concentración de radón que está entre 19 y 35  $\text{Bq}/\text{m}^3$  y que apenas el 18% presentan concentraciones mayores a 50  $\text{Bq}/\text{m}^3$



**Gráfico 5-3.** Histograma de frecuencias absolutas de las concentraciones de radón interior en una muestra de 45 residencias de los cantones Riobamba, Colta y Guano.

Realizado por: Johana C., Kelvin C. 2021.

### 3.5. Análisis de resultados

Este estudio se centra en medir gas radón-222 en el aire interior de cuarenta y cinco residencias de diferentes parroquias de los cantones Riobamba, Colta y Guano. La antigüedad de la casa está relacionada con el tipo de materiales utilizados en la construcción. Las paredes de la mayoría de las casas estudiadas son hechas con ladrillo o bloque, pero se observó casas con las paredes de piedra y adobe, los pisos de las casas son de madera, baldosa o únicamente cemento.

El sistema de detección de radón E-PERM SST se colocó en los dormitorios de 35 casas, mientras que los 10 restantes se ubicaron en otros lugares tales como salas, una oficina y un local comercial.

Una comparación de las concentraciones medias de radón los tres cantones, muestra que el cantón Colta presenta el valor medio más alto ( $41 \text{ Bq/m}^3$ ), seguido por Riobamba ( $38 \text{ Bq/m}^3$ ) y Guano ( $36 \text{ Bq/m}^3$ ). En el cantón Colta se observó mayor variabilidad en los resultados respecto a la concentración media.

Un análisis general de la muestra de cuarenta y cinco viviendas de los tres cantones, indica que más del 50% de las casas presentan una concentración de radón en el aire interior entre 19 y  $35 \text{ Bq/m}^3$  y que apenas el 18% presentan concentraciones mayores a  $50 \text{ Bq/m}^3$ . El valor más alto ( $84 \text{ Bq/m}^3$ ) se observó en la sala ubicada en la planta baja de una casa de 31 años de antigüedad, con paredes de ladrillo y piso de baldosa en la parroquia de Sicalpa del barrio Central.

En este contexto, las concentraciones de radón indoor, encontradas en este estudio, no superan el nivel de referencia ( $300 \text{ Bq/m}^3$ ) establecido por la Unión Europea en la Directiva EURATOM 2013/59.

## CONCLUSIONES

- Se calculó las concentraciones de gas radón en el aire interior de cuarenta y cinco viviendas de diferentes parroquias de los cantones Riobamba, Colta y Guano, usando el sistema de detección E-PERM SST, con un periodo de medición de siete días, el cálculo de los errores asociados a las concentraciones y las medidas repetidas realizadas, permiten concluir que el sistema es exacto y preciso; además es versátil y económico por lo que es adecuado para campañas de medida.
- Se comparó las concentraciones medias de radón indoor en los cantones Riobamba, Colta y Guano, calculadas usando los resultados obtenidos del monitoreo de las quince residencias por cantón, los resultados permiten concluir que el cantón Colta presenta el valor medio más alto ( $41 \text{ Bq/m}^3$ ) (con mayor variabilidad respecto a la concentración media), seguido por Riobamba ( $38 \text{ Bq/m}^3$ ) y Guano ( $36 \text{ Bq/m}^3$ ).
- Se analizó la muestra de cuarenta y cinco viviendas de los tres cantones, mediante un histograma de frecuencias absolutas, mismo que indica que más del 50% de las casas presentan una concentración de radón entre 19 y  $35 \text{ Bq/m}^3$  y que apenas el 18% presentan concentraciones mayores a  $50 \text{ Bq/m}^3$ . El valor más alto ( $84 \text{ Bq/m}^3$ ) se observó en la sala, ubicada en la planta baja, de una casa de la parroquia de Sicalpa del barrio Central, de lo antes señalado se concluye que las concentraciones de radón indoor, encontradas en este estudio, no superan el nivel de referencia ( $300 \text{ Bq/m}^3$ ) establecido por la Unión Europea en la directiva EURATOM 2013/59.
- Se observó que los valores más altos de concentración de radón indoor medidos en diferentes habitaciones, ubicadas en la planta baja o subterráneo, de los tres cantones, no están relacionados con la exhalación de los materiales de construcción de las paredes y el piso, por lo que se deduce que existe una posible correlación entre la concentración de radón y el tipo de suelo sobre el cual está construida la vivienda.

## **RECOMENDACIONES**

- El sistema de detección E-PERM debe ser transportado con precaución ya que golpes, caídas o mala manipulación puede llevar a resultados erróneos.
- No tocar la superficie del Electret con la mano o colocarlo sobre una superficie sin su tapa, esto ocasionará que el detector pierda su carga electrostática y quede inservible.

## BIBLIOGRAFÍA

**ASTUDILLO DELGADO JEFFERSON ANDRÉS.** Evaluación del riesgo radiológico como consecuencia de la inhalación del radón proveniente de las arcillas usadas en dos talleres (alfarería y cerámica) de la ciudad de Cuenca, Ecuador (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad politécnica salesiana sede Cuenca, Ingeniería Ambiental. Cuenca-Ecuador. 2018. pp.12-13. [Consulta: 2021-03-05]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15605>.

**BARROS, D. et al.** "Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: a population-based case-control study". *American journal of epidemiology* [en línea], 2002, (United States of America) 156(6), pp. 548-55. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/11163642\\_Exposure\\_to\\_residential\\_radon\\_and\\_lung\\_cancer\\_in\\_Spain\\_a\\_population-based\\_case-control\\_study](https://www.researchgate.net/publication/11163642_Exposure_to_residential_radon_and_lung_cancer_in_Spain_a_population-based_case-control_study).

**CANOBA, A., et al.** "Indoor radon measurements in six Latin American countries". *Geofísica Internacional* [en línea], 2002, (México) 41(4), pp. 453 - 457. [Consulta: 27 marzo 2021]. ISSN 0016-7169. Disponible en: <http://ojs.unam.mx/index.php/geofisica/article/view/39750>.

**CHERRY, ROBERT.** *Radiaciones ionizantes* [blog]. 1998. [Consulta: 25 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+48.+Radiaciones+ionizantes>

**CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR.** *La radiación gamma ambiental - CSN.* [blog]. [Consulta: 6 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.csn.es/radiacion-gamma-ambiental>.  
*Colta.* [blog]. [Consulta: 10 mayo 2021]. Disponible en: <http://contratosocialecuador.org/images/publicaciones/CCE/DC-Colta.pdf>.

**DIRECT INDUSTRY.** *AT6102 series - Espectrómetro de rayos gamma by Atomtex DirectIndustry.* [blog]. [Consulta: 12 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/atomtex/product-34593-205112.html>.

**ECUADESIGNERS.** *Cantón Guano – AME.* [blog]. 2010. [Consulta: 14 mayo 2021]. Disponible en: <https://ame.gob.ec/canton-guano/>.

**EURATOM.** "Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la

exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom". Diario oficial de la unión europea, (2013) pp. 7 - 31. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2014/013/L00001-00073.pdf>

**FORO DE LA INDUSTRIA ESPAÑOLA.** *Radiación ionizante natural y artificial* [blog]. [Consulta: 15 mayo 2021]. Disponible en: [https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/3\\_radiacin\\_ionizante\\_natural\\_y\\_artificial.html](https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/3_radiacin_ionizante_natural_y_artificial.html).

*Foro Nuclear* [blog]. [Consulta: 17 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-energia-nuclear/es-el-radon-perjudicial-para-nuestra-salud/>.

**FUENTE LASTRA MARTA.** Estudio de diferentes técnicas para la medida de exhalación de radón en suelos. (Trabajo de titulación) (Master). [En línea] Universidad de Cantabria, Facultad de ciencias. (Cantabria - España) 2016. p.8 [Consulta: 2021-03-16]. Disponible en: [https://drive.google.com/file/d/173KIkhygcd29-pEusivJ1EiUfv-wJkXb/view?usp=sharing&usp=embed\\_facebook](https://drive.google.com/file/d/173KIkhygcd29-pEusivJ1EiUfv-wJkXb/view?usp=sharing&usp=embed_facebook).

**GARZÓN GUSTAVO.** *El Radón - Manual Teórico Práctico* [En línea]. Colombia, 2009. [Consulta: 5 febrero 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/2.1.1932.4800>.

**GEOFFREY LEAN.** *Radiación efectos y fuentes* [En línea]. Estados Unidos: Copyright, 1991. [Consulta 2 marzo 2021]. Disponible en: [https://drive.google.com/file/d/10AY0BkJuvIuu2OZWwrNIUkacbfakXvbCk/view?usp=sharing&usp=embed\\_facebook](https://drive.google.com/file/d/10AY0BkJuvIuu2OZWwrNIUkacbfakXvbCk/view?usp=sharing&usp=embed_facebook).

**GILBERTO, Espinosa Paredes & VÁZQUEZ, Rodríguez Rodolfo.** *Física de reactores nucleares I: Un enfoque conceptual.* [En línea]. Iztapalapa - México: OmniaScience, 2016. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=eS4mDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=libro+de+fisica+nuclear&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjAuMqSspDtAhUxq1kKHcpmAlMQ6AEwA3oECAkQAq#v=onepage&q=libro%20de%20fisica%20nuclear&f=false>.

*Historia de Riobamba.* [blog]. 2020. [Consulta: 18 mayo 2021]. Disponible en: <https://riobamba.com.ec/es-ec/chimborazo/riobamba/historias/historia-riobamba-a64603b93>.

**ICRP.** *International Commission On Radiological Protection*. [blog]. 2014. [Consulta: 15 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20126>.

**KOTRAPPA, P. et al.** "A Practical E-PERMTM (Electret Passive Environmental Radon Monitor) System for Indoor <sup>222</sup>Rn Measurement". *Health Physics* [En línea], 1990, (United States of America) 58 (4), pp. 461-467.[Consulta: 15 abril 2021]. ISSN 0017-9078. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/00004032-199004000-00008>.

Kotrappa, P., y L. R. Stieff. 1992. «Elevation Correction Factors For E-Perm Radon Monitors»: *Health Physics* 62 (1): 82-86. <https://doi.org/10.1097/00004032-199201000-00011>.

*Prefectura de Chimborazo*. [Blog]. Riobamba - Chimborazo, 2019. [Consulta: 23 mayo 2021]. Disponible en: <https://chimborazo.gob.ec/la-provincia/>.

**GUILLERMO CENICEROS.** *La tabla de los elementos* [En línea]. México: La cabra ediciones, 2019. [Consulta: 5 enero 2021]. Disponible en: <http://www.universum.unam.mx/assets/temp/la-tabla-de-los-elementos/la-tabla-de-los-elementos-catalogo.pdf>.

**FREDERICK.** "E-PERM system user`s manual". Rad Elec Inc [En línea], (United States of America), p. 10. [Consulta: 25 mayo 2021]. Disponible en: [https://www.radelec.com/manuals/Manual-E-PERM\\_v3\\_3\\_1.pdf](https://www.radelec.com/manuals/Manual-E-PERM_v3_3_1.pdf).

**OBANDO ARTURO DAVILA.** Medición de Radón <sup>222</sup> atmosférico en la ciudad de Huancayo (Trabajo de titulación) (Magíster). [En línea] Pontificia Universidad Católica del Perú. (Lima - Perú). 2019. p. 19 [Consulta: 2021-03-09]. Disponible en: [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14231/D%C3%81VILA\\_OBANDO\\_ARTURO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14231/D%C3%81VILA_OBANDO_ARTURO.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**OMS.** *Manual de la oms sobre el radon en interiores: una perspectiva de salud pública*. World Health Organization.[blog]. 2015. [Consulta: 17 abril 2021]. Disponible en: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**PALMA JOSÉ-ALBERTO.** *Historia negra de la medicina: Sanguijuelas, lobotomías, sacramantecas y otros tratamientos absurdos, desagradables y terroríficos a lo largo de la historia*

[En línea]. Madrir - España: Ciudadela libros, 2016. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=x3Z5DgAAQBAJ&pg=PP147&dq=historia+del+radon&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwj2\\_rqY5o3tAhVP2FkKHccqAkYQ6AEwAXoECAgQAg#v=onepage&q=historia%20del%20radon&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=x3Z5DgAAQBAJ&pg=PP147&dq=historia+del+radon&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwj2_rqY5o3tAhVP2FkKHccqAkYQ6AEwAXoECAgQAg#v=onepage&q=historia%20del%20radon&f=false).

**FLOWERS, & LANGLEY.** "21.3: La desintegración radiactiva - LibreTexts Español". Libretexts [en línea], 2021. [Consulta: 24 abril 2021]. Disponible en: [https://espanol.libretexts.org/Quimica/Libro%3A\\_Quimica\\_General\\_\(OpenSTAX\)/21%3A\\_La\\_quimica\\_nuclear/21.3%3A\\_La\\_desintegracion\\_radiactiva](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Libro%3A_Quimica_General_(OpenSTAX)/21%3A_La_quimica_nuclear/21.3%3A_La_desintegracion_radiactiva).

**PÉREZ MÓNICA GARCÍA.** Estudio de la permeabilidad al gas Rn - 222 en diferentes láminas usadas en la construcción (Trabajo de titulación) (LICENCIADA EN FÍSICA). [En línea] Universidad de Cantabria, Facultad de Ciencias. (España). 2013. p. 19 [Consulta: 2021-05-16]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3154/Monica%20Garcia%20Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**SANTOS, Talita; et al.** "Indoor radon distribution in metropolitan region of belo horizonte, brasil". ABEN [en línea], 2009, (Brasil), pp. 2 - 8. [Consulta: 27 de abril 2021]. Disponible en: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/41/109/41109064.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/109/41109064.pdf)

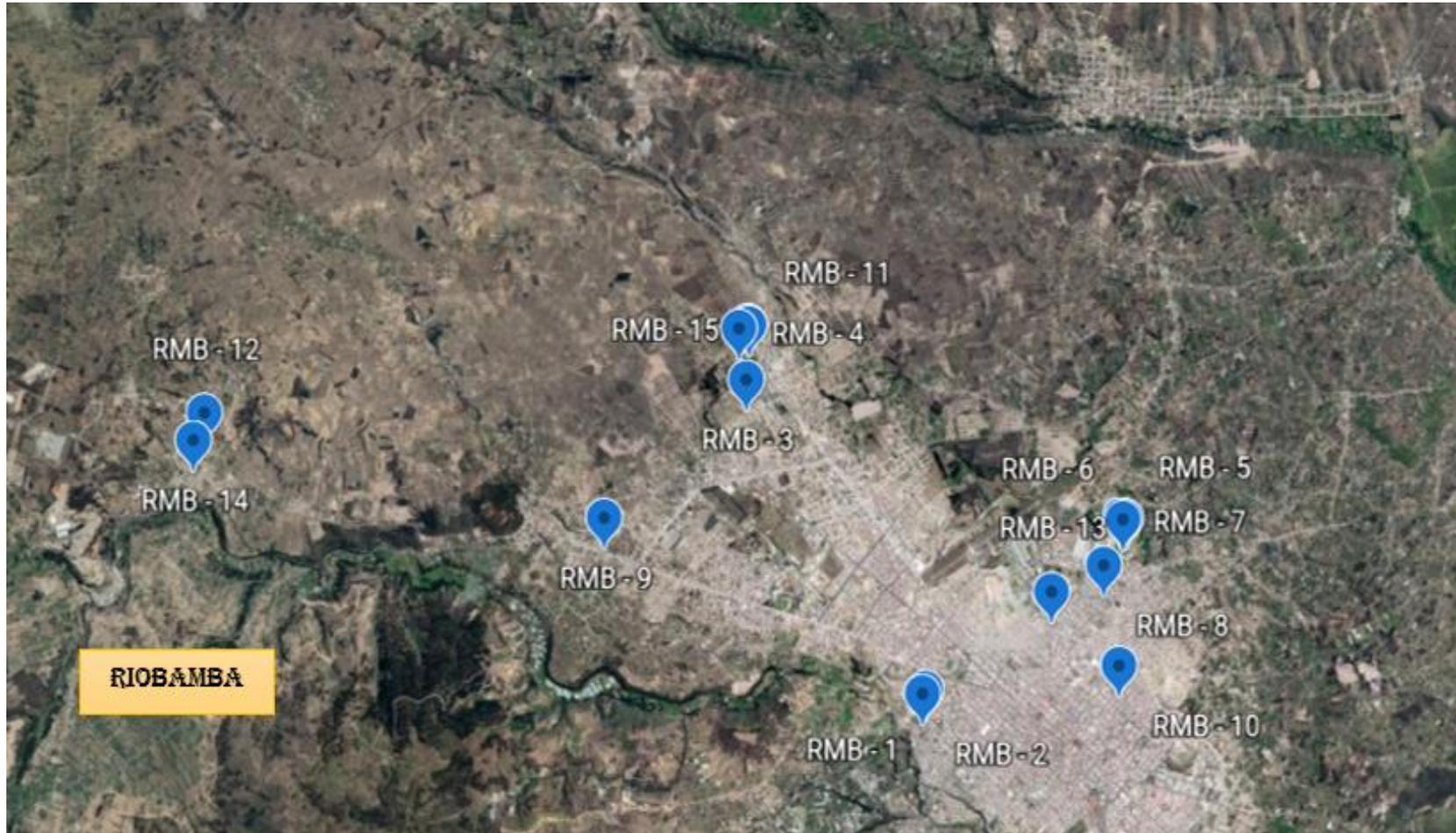
**SORIA ANTONIO FERRER.** *Física nuclear y de partículas* [En línea]. 3ª ed. 3ra edición. Valencia - España: Miate Simón, 2015. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=J9d2CgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=libro+de+fisica+nuclear&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjAuMqSspDtAhUxq1kKHcpmAIMQ6AEwAXoECAUQAg#v=onepage&q=libro%20de%20fisica%20nuclear&f=false>.

**UNSCEAR.** *Sources and Effects of Ionizing Radiation* [En línea]. New York - United States of America, 2008. [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=4>

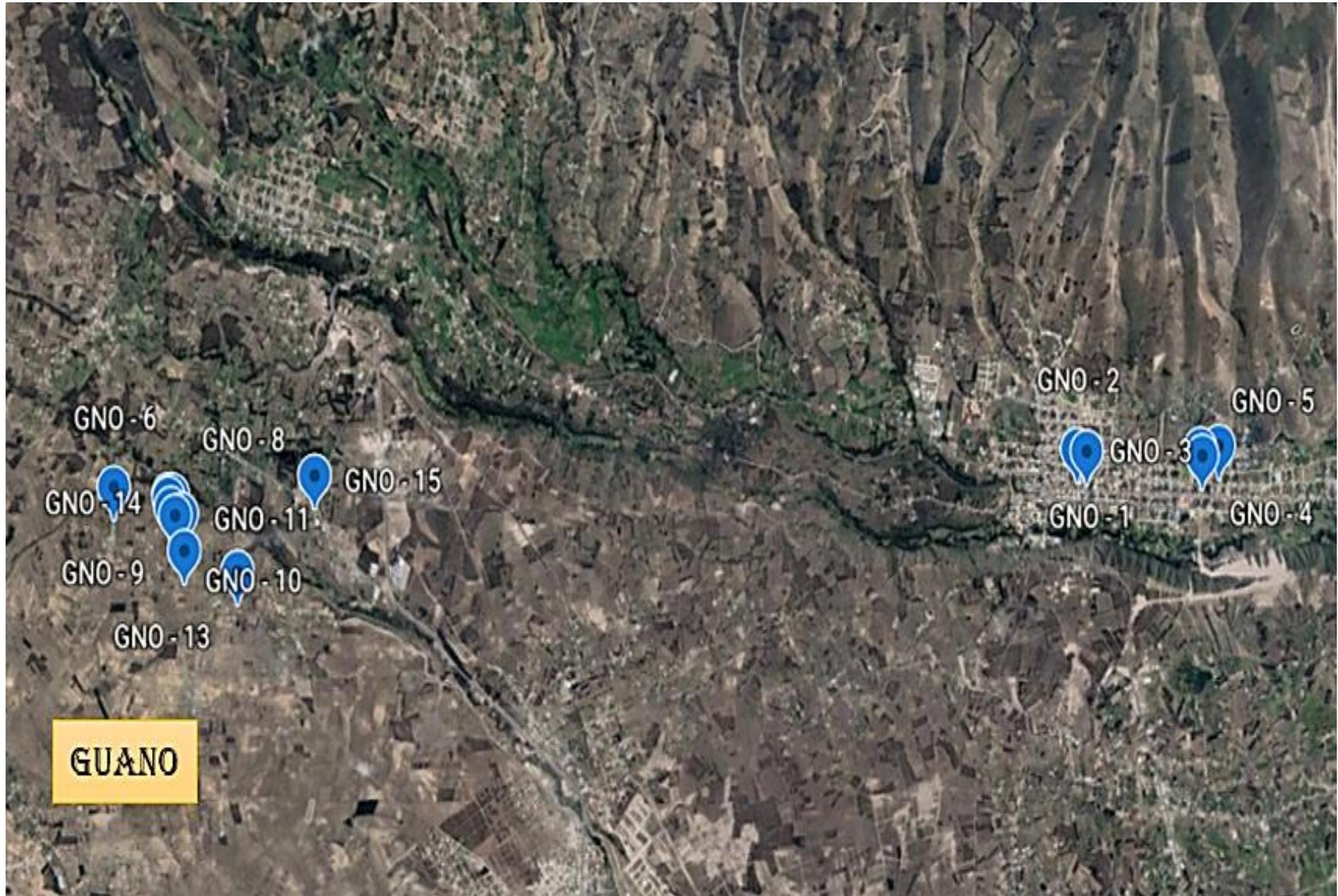
**WHO.** *Manual de la oms sobre el radon en interiores: una perspectiva de salud pública.* [En línea]. Suiza: Patrick Tissot/OMS, 2015. [Consulta: 14 noviembre 2020]. Disponible en: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

## ANEXOS

### ANEXO A. GEOREFERENCIACIÓN DE LAS CASAS MONITORIADAS.







**GUANO**

## ANEXO B. FICHA TÉCNICA.



Gruppo Collegato di Cosenza  
Laboratori Nazionali di Frascati



Università della Calabria  
Dipartimento di Fisica

# MEDIDAS DE CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN

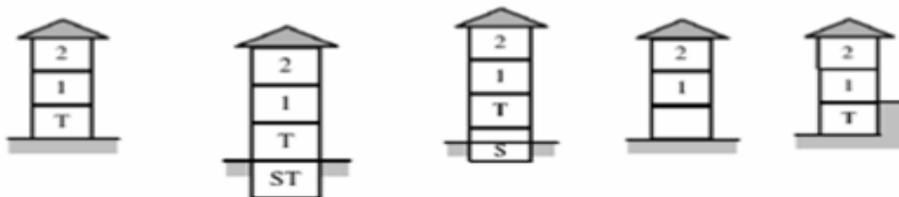
## INFORMACIÓN SOBRE AL LUGAR DE MEDIDA

DATOS DE LA CONSTRUCCIÓN	
Código electret:	Código casa:
Nombres:	Apellidos:
Parroquia:	Barrio:
Cantón:	Provincia:
Fecha inicial:	Fecha final:
Voltaje inicial :	Voltaje final:
Hora de colocación:	Hora de retiro:
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Latitud:	Longitud:

### Datos de vivienda:

**Tipología de construcción:** 1: Casa 2: Condominio 3: Edificio

**Posición respecto al suelo, del piso más bajo de la construcción:**



1: Sobre el terreno 2: Bajo el terreno 3: Semi enterrado 4: Sobre columnas 5: Enterrado 6: Otro  
(semienterrado en alguno de sus lados)

### Uso del piso semienterrado o el sótano:

1: Cimiento 2: Bodega/Garaje 3: Lugar de ventilación 4: Lugar de trabajo 5: Otro \_\_\_\_\_

Presencia de inter-espacios: 1: SÍ 2: NO

**Piso más bajo de la construcción** (excluye el sótano) 1: Planta baja 2: Piso No. \_\_\_\_\_

**Número de pisos sobre el que está la construcción** (excluye el sótano) \_\_\_\_\_

### Tipo del espacio donde se efectuará la medición:

1: Dormitorio 2: Sala 3: Estudio/Laboratorio 4: Otro \_\_\_\_\_

**Piso sobre el cuál se efectuará la medición:** 1: Planta baja 2: Piso No. \_\_\_\_\_

## CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN

**Año de construcción** \_\_\_\_\_

### Tipo de terreno en el cual está la edificación

- |                                          |                                         |                                     |
|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Grava           | <input type="checkbox"/> Pómex          | <input type="checkbox"/> Pórfido    |
| <input type="checkbox"/> Arena           | <input type="checkbox"/> Traquita       | <input type="checkbox"/> Esquisto   |
| <input type="checkbox"/> Arcilla         | <input type="checkbox"/> Tufo de volcán | <input type="checkbox"/> Granito    |
| <input type="checkbox"/> Piedra arenisca | <input type="checkbox"/> Caliza         | <input type="checkbox"/> Mármol     |
| <input type="checkbox"/> Travertino      | <input type="checkbox"/> Dolomita       | <input type="checkbox"/> Sienita    |
| <input type="checkbox"/> Diorite         | <input type="checkbox"/> Basalto        | <input type="checkbox"/> Otro _____ |

### Materiales de Construcción

- |                                   |                                         |                                          |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tufo     | <input type="checkbox"/> Arena          | <input type="checkbox"/> Cemento y arena |
| <input type="checkbox"/> Ladrillo | <input type="checkbox"/> Yeso Natural   | <input type="checkbox"/> Hormigón        |
| <input type="checkbox"/> Cemento  | <input type="checkbox"/> Piedra Natural |                                          |

### Presencia de planta de climatización activo

- Solo de calefacción
- Calefacción / Aire acondicionado
- Solo aire acondicionado
- Ninguno

### Presencia de deshidratación y/o humedad en las paredes

\_\_\_\_ Si      \_\_\_\_ No

### Presencia de grietas y/o fisuras en las paredes

\_\_\_\_ Si      \_\_\_\_ No

### Notas

---

---

---

---

## DATOS GLOBALES ÚTILES

### Estudiantes que participan en la medición

Indicar el nombre de los estudiantes/ los responsables/ y la posición y retiro del dosímetro

--

### Área geológica de la estructura

Otros detalles aparte de los detallados arriba para el área sobre el edificio, indicar si es que es sísmica etc.

--

### Materiales adicionales presentes en la estructura

Pisos y encimeras de las cocinas en caso de haber, estatuas y marcos de piedra

--

### Fuente de agua

Fuentes publicas cercanas o pozos

--

### Información que se entrega el propietario

Folletos, información sobre los resultados, etc.

--

### Instrumentación utilizada

CR39, E-Perm u otro, Gammascout, etc.

--

## **Encuesta de Radioactivity Laboratory**

### **Género**

\_\_\_ Mujer

\_\_\_ Hombre

### **Edad**

\_\_\_ <19

\_\_\_ 19 – 31

\_\_\_ 30 – 50

\_\_\_ > 50

### **Instrucción**

\_\_\_ Escuela/Colegio

\_\_\_ Graduado del Colegio

\_\_\_ Graduado 3er nivel

\_\_\_ Estudiante

**País:** Ecuador

### **Conocimiento del RADON**

¿Conoce sobre el problema de Radón? SI \_\_\_ NO \_\_\_

¿Si su respuesta es SÍ, de que fuente? Periódico \_\_\_ Tv \_\_\_ Web \_\_\_ Conversaciones \_\_\_

Proyectos \_\_\_ Otros \_\_\_

¿Considera usted urgente realizar una medida de Radón en su país?

SI \_\_\_ NO \_\_\_ NO LO SÉ \_\_\_

**Notas:**

---

---



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE  
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 06 / 01 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Johana Katherine Cabay Giron
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Biofísica
<b>Título a optar:</b> Biofísica
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

**LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE**

Firmado digitalmente por LEONARDO  
FABIO MEDINA NUSTE  
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,  
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO,  
serialNumber=0000621485,  
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Fecha: 2022.01.06 16:44:06 -05'00'



**0035-DBRA-UTP-2022**