



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

**EXHALACIÓN DE RADÓN-222 DE LOS MATERIALES DE
CONSTRUCCIÓN PARA USO DECORATIVO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

FÍSICA

AUTORA: MARÍA GABRIELA VALLEJO ROJAS

DIRECTORA: Dra. JHENY ORBE ORDOÑEZ Ph. D.

Riobamba – Ecuador

2022

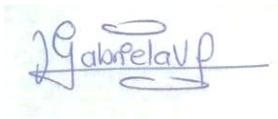
© 2022, **María Gabriela Vallejo Rojas**

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

Yo, MARÍA GABRIELA VALLEJO ROJAS, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 04 de julio de 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Gabriela Vallejo Rojas', with a horizontal line underneath.

María Gabriela Vallejo Rojas

06048449494-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **EXHALACIÓN DE RADÓN-222 DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA USO DECORATIVO**, realizado por la señorita **MARÍA GABRIELA VALLEJO ROJAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo Dra. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-07-04
Dra. Jheny Orbe Ordoñez PhD. DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-07-04
Dra. Magdy Echeverría Guadalupe PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-07-04

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis hijos Valery e Iker, espero sea de inspiración para ellos para que siempre luchen por sus sueños. Es para mi satisfactorio poder decirles que, con esfuerzo y constancia, pueden cumplir cualquier objetivo que se propongan. A mi querido esposo y familia por siempre ser mi fortaleza y apoyo en todo momento.

Gabriela

AGRADECIMIENTO

Agradezco Grupo de Investigación (GIDAC), Proyecto de Investigación: Evaluación de elementos radiactivos de la serie del Uranio 238 en el ambiente y pacientes con cáncer, por permitirme realizar el trabajo de integración.

De manera especial, quiero agradecer a la Dra. Jheny Orbe por permitirme formar parte del proyecto y por el conocimiento que me ha impartido, su tiempo y paciencia.

Gabriela

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Exhalación de radón-222 en materiales de construcción.....	3
1.1.1. <i>Generalidades del radón</i>	3
1.1.2. <i>Radón en materiales de construcción</i>	6
1.1.3. <i>Impacto del radón en la salud</i>	7
1.1.4. <i>Normativa y recomendaciones de organismos internacionales</i>	9
1.1.5. <i>Magnitudes físicas</i>	10
1.2. Materiales de construcción para uso decorativo en interiores.....	10
1.2.1. <i>Cerámica</i>	10
1.2.2. <i>Yeso</i>	12

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	14
2.1. Población de estudio.....	14
2.2. Sistema de detección.....	14
2.3. Protocolo de preparación de muestras.....	16
2.4. Procedimiento para evaluar la tasa de exhalación de radón.....	16
2.4.1. <i>Tasa de exhalación superficial</i>	16
2.4.1.1. <i>Concentración de radón</i>	17
2.4.2. <i>Tasa de exhalación másica</i>	18
2.4.3. <i>Procedimiento experimental</i>	18

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	19
3.1.	Resultados de tasa de exhalación superficial de radón	19
3.1.1.	<i>Tasa de exhalación superficial de radón en baldosas</i>	<i>19</i>
3.1.2.	<i>Tasa de exhalación superficial de radón en estuco y gypsum.....</i>	<i>20</i>
3.1.3.	<i>Comparación de tasas de exhalación superficial</i>	<i>20</i>
3.2.	Resultados de tasa de exhalación másica de radón.....	21
3.2.1.	<i>Tasa de exhalación másica de radón en baldosas</i>	<i>21</i>
3.2.2.	<i>Tasa de exhalación másica de radón en estuco y gypsum</i>	<i>22</i>
3.2.3.	<i>Comparación de tasas de exhalación másica</i>	<i>23</i>
	CONCLUSIONES.....	24
	RECOMENDACIONES.....	25
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Propiedades físico-químicas del radón	3
Tabla 2-1: Tipos de gypsum.....	13
Tabla 1-3: Tasa de exhalación superficial de radón en muestras de baldosas	19
Tabla 2-3: Tasa de exhalación superficial de radón en muestras de estuco y gypsum	20
Tabla 3-3: Tasa de exhalación másica de radón en muestras de baldosas	22
Tabla 4-3: Tasa de exhalación másica de radón en muestras de estuco y gypsum	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Cadena de decaimiento del ^{238}U (flecha vertical decaimiento α , flecha inclinada decaimiento β^+)	4
Figura 2-1. Mecanismo de transporte del radón.....	5
Figura 3-1. Inhalación de radón en el organismo.....	8
Figura 4-1. Baldosas cerámicas	11
Figura 5-1. Gypsum	12
Figura 1-2. Sistema E-PERM ST	15
Figura 2-2. Detección de radón con el sistema E-PERM.....	15

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Tasa de exhalación superficial de radón en baldosa, estuco y gypsum 21

Gráfico 2-3: Tasa de exhalación másica de radón en baldosa, estuco y gypsum..... 23

ÍNDICE DE ANEXOS

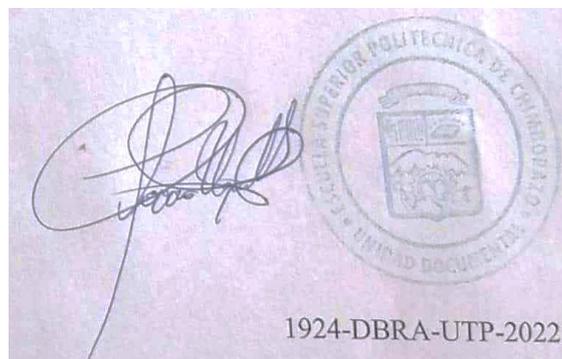
ANEXO A. MUESTRAS DE BALDOSAS ANALIZADAS

ANEXO B. MONTAJE DEL SISTEMA E-PERM ST

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo calcular la tasa de exhalación superficial y másica de radón-222 de los materiales de construcción para uso decorativo. Se analizaron cinco muestras de baldosas de las marcas Ecuaceramica, Rialto e Italpisos, una muestra de estuco y una de gypsum, mismas que fueron previamente tratadas. Se utilizó el sistema de detección pasivo de radón de corto plazo (E-PERM ST) que consistió en una cámara de ionización modelo S, un Electret tipo ST (short term o corto plazo), lector de voltaje de Electret y un acumulador de radón de vidrio cuidadosamente sellado para evitar la fuga del radón. Los resultados mostraron que el rango de tasa de exhalación superficial y másica de las baldosas fue 0,28 a 0,67 Bequerelios por metro cuadrado por hora y 0,0033 a 0,0074 Bequerelios por kilogramo por hora respectivamente, donde el valor máximo corresponde a la baldosa ploma de la marca Ecuaceramica y el mínimo a la baldosa roja de Italpisos. La tasa de exhalación superficial y másica del estuco ($0,30 \pm 0,03$ Bequerelios por metro cuadrado por hora y $0,0044 \pm 0,0004$ Bequerelios por kilogramo por hora, respectivamente) fue mayor que la tasa de exhalación superficial y másica en gypsum ($0,25 \pm 0,03$ Bequerelios por metro cuadrado por hora y $0,0033 \pm 0,0004$ Bequerelios por kilogramo por hora, respectivamente). En conclusión, al comparar las tasas de exhalación tanto superficial como másica de todos los materiales de uso decorativo analizados, se observó que la tasa de exhalación superficial y másica de los materiales usados en pisos (baldosas) fue mayor que los usados en tumbados (estuco y gypsum). Se recomienda evitar la presencia de humedad para evitar cambios en las medidas y en posteriores investigaciones usar muestras en estado sólido.

Palabras clave: <RADÓN-222>, <MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA USO DECORATIVO>, <SISTEMA E-PERM ST>, <CÁMARA DE IONIZACIÓN>, <ELECTRET>, <TASA DE EXHALACIÓN SUPERFICIAL>, <TASA DE EXHALACIÓN MÁSCICA>.



ABSTRACT

The objective of this work was to calculate the surface and mass exhalation rate of radon-222 from building materials for decorative use. Five samples of Ecuaceramica, Rialto and Italpisos tiles, one sample of stucco and one of gypsum, which were previously treated, were analyzed. The short-term passive radon detection system (E-PERM ST) was used, which consisted of a model S ionization chamber, an Electret type ST (short term), Electret voltage reader and a glass radon accumulator carefully sealed to avoid radon leakage. The results showed that the range of surface and mass exhalation rate of the tiles was 0.28 to 0.67 Bequerels per square meter per hour and 0.0033 to 0.0074 Bequerels per kilogram per hour respectively, where the maximum value corresponds to the lead tile of the Ecuaceramica brand and the minimum to the red tile of Italpisos. The surface and mass exhalation rate of stucco (0.30 ± 0.03 Bequerels per square meter per hour and 0.0044 ± 0.0004 Bequerels per kilogram per hour, respectively) was higher than the surface and mass exhalation rate in gypsum (0.25 ± 0.03 Bequerels per square meter per hour and 0.0033 ± 0.0004 Bequerels per kilogram per hour, respectively). In conclusion, when comparing the surface and mass exhalation rates of all the decorative materials analyzed, it was observed that the surface and mass exhalation rate of the materials used in floors (tiles) was higher than those used in roofing (stucco and gypsum). It is recommended to avoid the presence of humidity to avoid changes in the measurements and in subsequent investigations to use samples in solid state.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Chantal Rojas', is written on a light-colored surface. The signature is stylized and includes a large, sweeping flourish at the end.

INTRODUCCIÓN

El gas radón es un isótopo radiactivo procedente de la cadena de desintegración del uranio-238 (^{238}U). Según la Organización Mundial de la Salud (2015), el radón-222 (^{222}Rn) tiene consecuencias severas en la salud del ser humano, en muchos países representa la segunda causa de contraer cáncer de pulmón, tan solo después del tabaco. Además de cáncer pulmonar se lo asocia con otras enfermedades como la leucemia y esclerosis múltiple. De hecho, el alto peligro de este isótopo está relacionado intrínsecamente con los productos de su desintegración radiactiva de vida corta tales como el polonio-218 y polonio-214, plomo-214, y bismuto-214, que en conjunto con el radón representan más del 50% de la dosis efectiva reciba por exposición a radiación ionizante procedente de fuentes naturales (Fuente, 2016, pp.2-39).

La documentación científica realizada en distintos países del mundo confirma la presencia de concentración de gas radón en materiales de construcción de interiores. Un estudio realizado en Ravenna, Italia, titulado “Radiactividad natural y exhalación de radón en materiales de construcción utilizados en viviendas italianas”, indica la presencia de este isótopo a través del método de cámara de iones de electreto E-PERM donde se determinó que las concentraciones de actividad específica promedio eran: 60 Bq kg^{-1} (^{226}Ra), 58 Bq kg^{-1} (^{232}Th) y 600 Bq kg^{-1} (^{40}K) que concuerdan con los promedios mundiales típicos correspondientes a 50, 50 y 500 Bq kg^{-1} , respectivamente; además de las cuarenta y dos muestras, el 5% tenían índices de peligrosidad que superaban los valores límites sugeridos por la Comisión Europea (1 mSv/año) (Righi y Bruzzi, 2006, pp.158-170). De la misma manera, en Serbia se realizó análisis radiométricos de baldosas utilizadas para la construcción de edificios, donde obtuvieron la concentración de la actividad media del ^{226}Ra , ^{232}Th , y ^{40}K siendo $67 \pm 4 \text{ Bq kg}^{-1}$, $50 \pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$, y $500 \pm 26 \text{ Bq kg}^{-1}$, los cuales estaban bajo los límites recomendados por las organizaciones nacionales e internacionales (Dizman y Keser, 2019, pp.245-252). En Nigeria se analizaron muestras de materiales de construcción usados en interiores y se determinó que en gypsum, mármol, cerámica y granito la tasa de exhalación superficial respectiva para cada uno de estos fueron de 1.63, 2.29, 3.99 y $5.39 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Al-Azmi et al., 2018, pp.6-10). En China también se reportaron datos experimentales de la tasa de exhalación superficial de 10 marcas diferentes de baldosas esmaltadas fabricadas en este mismo país, revelando valores que están en el rango de $0,36\text{-}2,52 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, con una media de $1,49 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Wang et al., 2021, pp.549-557).

En Ecuador también se han realizado estudios similares referente a detección de gas radón en diferentes materiales de construcción, tal es el caso de la investigación realizada por Hidrovo (2019, pp.1-38), en el cantón Riobamba, utilizando el método de cámara cerrada, mediante el detector de estado sólido RAD7, se obtuvieron valores de dosis efectiva debido a la inhalación de radón para el ladrillo ($0,012 \text{ mSv/año}$), puzolana ($0,069 \text{ mSv/año}$), granito ($0,23 \text{ mSv/año}$) y concreto

(0,55 mSv/año). Otro estudio, también usando el método de cámara cerrada, realizado en la ciudad de Latacunga (Amancha, 2021, pp.21-100), arrojó datos sobre la existencia de este radio isótopo en ladrillo, donde la concentración fue de aproximadamente 10 Bq m^{-3} y la dosis efectiva anual de 2 uSv/año . En ambos estudios la dosis efectiva anual por inhalación están bajo el límite recomendado ($1,1 \text{ mSv/año}$) por organismos internacionales como la UNSCEAR (2006, p.321), IAEA (2015, p.112) y USEPA (2016, p.1-15). Un estudio en muestras de materiales de construcción típicamente usados en Ecuador, obtuvieron resultados de exhalación másica entre $0,041$ y $0,099 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, el valor máximo en una muestra de hormigón y el mínimo en una muestra de bloque (Orbe, 2021, p.102). Finalmente, en Chimborazo-Riobamba se analizaron muestras de cemento procedentes de áreas mineras ubicadas en esta misma área, donde los rangos de tasa de exhalación superficial fueron de $0.645 \pm 0.097 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ a $2.139 \pm 0.128 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Meza, 2021, pp.44).

Como se aprecia en los estudios mencionados, el radón está presente en todo tipo de material de construcción, causando gran preocupación para la seguridad de la población, ya que una persona promedio pasa hasta el 80% del tiempo de su vida en áreas interiores, exponiéndose a aumentar el riesgo de padecer cáncer de pulmón como consecuencia de la inhalación de radón.

Es por ello que esta investigación tiene como objetivo determinar la tasa de exhalación de radón-222 de los materiales de construcción para uso decorativo. Para lo cual se va a diseñar un protocolo para la preparación de las muestras de materiales de uso decorativo de interiores y elaborar un procedimiento para calcular la tasa de exhalación superficial y másica de radón-222 de los materiales usados para la decoración de interiores con el sistema de detección E-PERM ST.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Exhalación de radón-222 en materiales de construcción

1.1.1. Generalidades del radón

El radón es un gas natural, incoloro, inodoro, casi químicamente inerte y radiactivo. Algunas de sus propiedades se muestran en la Tabla 1-1. En comparación con los otros gases nobles, el radón es el más pesado y tiene el punto de fusión, el punto de ebullición, la temperatura crítica y la presión crítica más altos. Es soluble en agua fría y su solubilidad disminuye al aumentar la temperatura (Cothem y Smith, 2013, pp.1-15).

Tabla 1-1: Propiedades físico-químicas del radón

Características	Valor
Punto de ebullición	-62°C
Punto de fusión	-71°C
Temperatura critica	104.5°C
Presión critica	62.4 atm
Entalpia de la solución a 0°C	28.0 KJ/mol
a 35.0°C	19.7 KJ/mol
Densidad del a temperatura y presión estándar	9.73 gr/l
Densidad de la fase liquida	0.005-0.006 gr/l
Sección transversal atómica	0.37 nm
Viscosidad a 0°C	0.021 Pas.S
Tensión superficial	2.9 mN/cm
Solubilidad en agua a 0°C	51.4 cm ³ radón/100 cm ³
Solubilidad en agua a 35°C	2.4 cm ³ radón/100 cm ³
Solubilidad en agua a 50°C	3 cm ³ radón/100 cm ³

Fuente: (Cothem y Smith, 2013, p.10).

Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022.

El gas radón ²²²Rn es un gas de origen natural, emitido por el radio ²²⁶Ra y este a su vez es producto de la cadena de decaimiento del ²³⁸U localizado en el subsuelo como se aprecia en la Figura 1-1. La vida media del radón es 3,8 días, y al ser un gas tiene la facilidad de escapar del suelo al aire. Además, tiende a concentrarse en espacios cerrados ya sean minas subterráneas, casas, y demás

edificaciones. La infiltración de gas en el suelo es reconocida como la fuente más importante de radón residencial, sin embargo, existen otras fuentes no menos importantes como materiales de construcción y agua extraída de pozos (Organización Mundial de la Salud, 2022, párr.3).

Además, el radón es un emisor alfa, lo cual indica que los productos de su desintegración son las partículas pesadas alfa que, si bien tienen bajo poder de penetración, su capacidad de ionización es extremadamente alta, por lo tanto, al ingresar en el cuerpo humano por inhalación o ingestión tiene el potencial de ionizar los tejidos internos produciendo algún tipo de cáncer, el más usual el cáncer de pulmón.

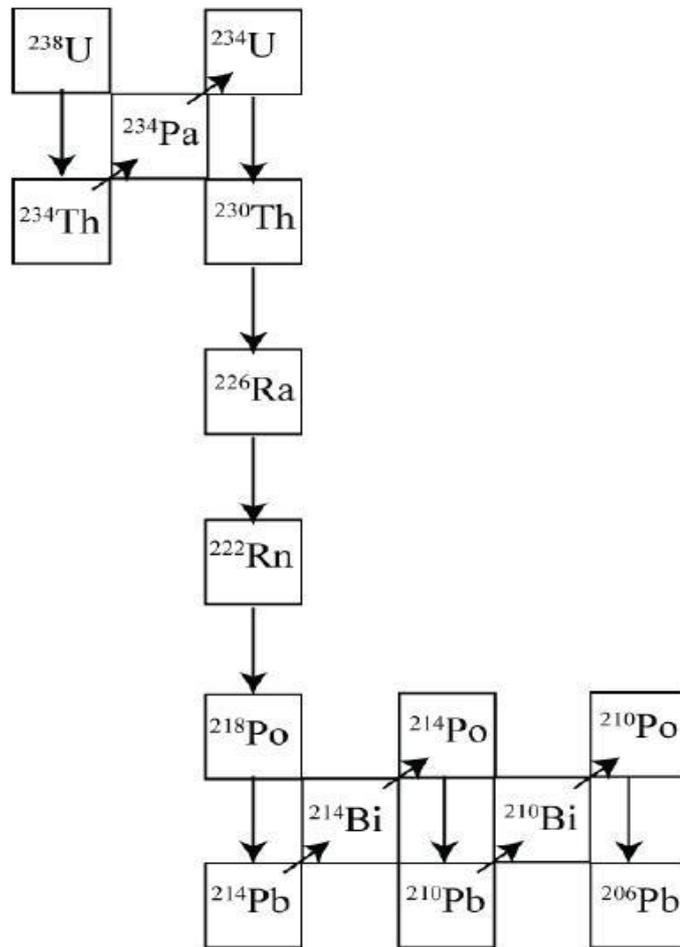


Figura 1-1. Cadena de decaimiento del ^{238}U (flecha vertical decaimiento α , flecha inclinada decaimiento β^+)

Fuente: (Bernal et al., 2010, p.312).

El mecanismo de transporte de radón del suelo al aire consta de tres procesos: emanación, transporte y exhalación como se observa en la Figura 2-1:

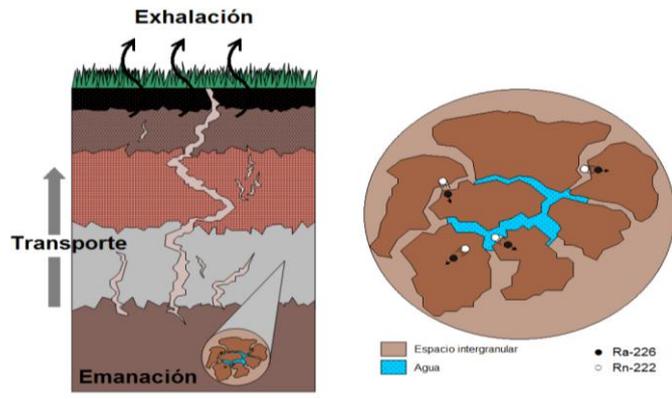


Figura 2-1. Mecanismo de transporte del radón

Fuente: (Fuente, 2016, p.6).

- **Emanación**

El ^{222}Rn es el isótopo más importante y es de especial interés en todo el mundo debido a sus impactos sobre la salud. Dado que el radionúclido padre, ^{226}Ra , se encuentra en cantidades mínimas en toda la tierra, el radón está presente tanto en el aire interior como exterior. Sin embargo, la concentración de radón en el suelo puede variar en un amplio rango dependiendo de las condiciones climáticas, los factores climáticos y tipo de suelo. Cuando el ^{226}Ra decae sobre los granos del suelo, una fracción de átomos de radón escapan del grano del suelo, ingresando al aire o a los espacios porosos llenos de agua y migran a través de los poros en un proceso llamado emanación. La fracción de radón que ingresa a los espacios porosos sobre la cantidad de radón generado, se conoce comúnmente como fracción de emanación o coeficiente de emanación. El proceso de emanación se debe a dos componentes: el retroceso y la difusión. Dado que el coeficiente de difusión de los gases en el material sólido es muy bajo, se supone que la fracción de emanación proviene principalmente del proceso de retroceso (Immé et al., 2014, pp.349-351). El rango de distancia de retroceso del radón es de 20 a 70 nm en los minerales comunes, 100 nm en el agua y 63 nm en el aire (Tabar et al., 2016, pp.268-278).

Para caracterizar el comportamiento físico del radón en los materiales se utiliza el coeficiente de emanación, que se define como la fracción de átomos de ^{222}Rn producidos por la desintegración radiactiva del ^{226}Ra que escapan desde un grano de mineral al espacio de poros intersticial. El coeficiente puede variar entre 0, cuando el radón no escapa del material, y 1o, cuando todo el radón escapa (Bossew, 2003, pp.389-392).

Los principales factores que afectan la emanación de radón (Noverques, 2017, pp.27-40) son:

- Coeficiente de emanación, el cual cambiará en dependencia del tipo de material y gránulos de mineral.
- El tamaño de los gránulos del mineral, el radón tendrá mayor facilidad de escapar hacia el espacio intersticial mientras menor sea el tamaño de estos gránulos.
- Contenido en humedad, el porcentaje de probabilidad de que los átomos de radón sean frenados

aumenta cuanto mayor sea el contenido de humedad ya que mayor agua tendrán los poros de los materiales.

- Transporte

Después de los procesos de emanación, los átomos de radón que ingresan a los espacios porosos son transportados por difusión y advección a través de este espacio (Tabar et al., 2016, p.29). La difusión hace referencia al movimiento de este isótopo gaseoso desde una zona de alta concentración a una de baja concentración. Este movimiento varía en función de la diferencia de concentraciones entre un lugar y otro (Noverques, 2017, pp.28-30). La advección forzada, puede ocurrir cuando se dispone de un gradiente térmico suficiente dentro del material, dependiendo de muchos parámetros locales, como la viscosidad, la porosidad, la permeabilidad (Immé et al., 2014, 349-351).

- Exhalación

Los átomos de radón se transportan dentro del suelo, hasta que se desintegran radiactivamente o se liberan a la atmósfera. Esto se denomina proceso de exhalación y la cantidad de actividad de liberación de radón por unidad de superficie por unidad de tiempo se denomina tasa de exhalación de radón. La exhalación de radón depende de una serie de variables, como la concentración de actividad de ^{226}Ra y su distribución en el suelo, la porosidad, la temperatura del suelo, la saturación de agua del suelo, la presión atmosférica, las precipitaciones, la geología del área, el viento superficial, el coeficiente de emanación y la mineralización de uranio asociada.

La exhalación de radón del suelo es la principal fuente de concentración de radón en interiores, responsable de contribuir con la mitad de la dosis de radiación natural a los seres humanos. Los materiales de construcción y el agua del grifo suministrada a partir de aguas subterráneas en acuíferos que contienen radio también podrían contribuir a la concentración de radón en interiores. Sin embargo, varios estudios sobre la tasa de exhalación de radón de los materiales de construcción y el agua del grifo mostraron que estas dos fuentes normalmente contribuirían solo con una pequeña fracción de la cantidad total de radón medido. Por lo tanto, el suelo subyacente suele ser la principal fuente de radón. Es así que, la información sobre la distribución regional de la exhalación de radón desde la superficie de la tierra se considera útil para identificar áreas con un alto riesgo de exposición pública al radón (Tabar et al., 2016, pp.278-288).

1.1.2. Radón en materiales de construcción

El efecto de la exhalación de radón en materiales de construcción ha sido ampliamente estudiado durante las últimas décadas. Los primeros estudios indicaron que los materiales de construcción eran la principal fuente de radón en interiores. Sin embargo, estudios más recientes exponen que las concentraciones más altas registradas de radón en interiores son causadas por la exhalación desde el suelo o rocas adyacentes a las edificaciones (United States Environmental Protection Agency,

2016, párr.20)

La contribución de los materiales de construcción a los valores de radón en interiores puede despreciarse en áreas con alto contenido de radón. Para las medidas de mitigación en casas con alto contenido de radón, es importante conocer la permeabilidad al radón de diferentes materiales de aislamiento y construcción. La decisión de si un material es hermético al radón o no depende de la densidad y el obstáculo de la penetración del radón en el material (Keller et al., 2001, pp.85-89). Algunos de los materiales de construcción están formados por materias primas que contienen ^{226}Ra , tales como ladrillos, cerámicas, hormigón, yesos, cementos o cenizas volantes. Se recomienda utilizar materiales con bajo contenido en radio y evitar la estanqueidad y encerramiento de espacios interiores, con el fin de evitar la exhalación del gas radón. El radón proveniente de los materiales de construcción supone el 20% del total en un espacio cerrado (Frutos y Olaya, 2010, pp.5-71).

1.1.3. Impacto del radón en la salud

Según la OMS (2015, pp.4-17), el radón en muchos países tan solo después del tabaco representa un factor importante para contraer cáncer de pulmón. El radón representa un riesgo a pesar de estar bajo dosis umbrales, en otras palabras, no existe umbral por debajo de la cual la exposición no represente riesgo, es más, el radón por muy bajas concentraciones que sea puede dar espacio a aumentar el riesgo de cáncer pulmonar. En su mayoría, los casos de este tipo de cáncer se han dado por exposición a concentraciones relativamente moderadas y bajas, pudiendo atribuirse al tiempo de exposición de las personas en lugares cerrados o con poca ventilación. Además, se incrementa en 16% el riesgo de cáncer de pulmón por cada aumento de 100 Bq m^{-3} en la concentración media a largo plazo de este isótopo (Organización Mundial de la Salud, 2021, párr.5).

La dosis alfa administrada a las células diana (target u objetivo) en el epitelio bronquial surge principalmente de los productos de desintegración de vida corta depositados en las superficies de las vías respiratorias bronquiales (Figura 3-1). La dosis alfa del radón en sí es menor que la de sus productos de descomposición debido a la ubicación del radón a medida que se descompone en las vías respiratorias; hay una baja probabilidad de que una partícula alfa interactúe con una célula. Los productos de descomposición, sin embargo, están en las superficies de las vías respiratorias dentro de aproximadamente 20 a 30 μm de estas células objetivo y, por lo tanto, tienen una mayor probabilidad de golpear el núcleo de la célula objetivo (National Research Council, 1999, pp.1-50).

El radón junto a sus productos de desintegración representan más del 50% de la dosis efectiva reciba por exposición a radiación ionizante procedente de fuentes naturales (Fuente, 2016, p.20). Aunque el verdadero riesgo sobre la salud son los primeros cuatro descendientes del radón: ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi y ^{214}Po : son isótopos radiactivos metálicos con una vida media muy corta desde una

fracción de segundos hasta 27 minutos. Representan un peligro ya que pueden condensarse fácilmente en una superficie sólida o líquida, pueden unirse a aerosoles o estar suspendidos en el aire, es por ello que fácilmente una persona puede inhalarlo y ser depositados en las superficies epiteliales dentro de los pulmones para desintegrarse completamente. Los procesos de desintegración emiten partículas alfa altamente ionizantes para las cuales el tejido epitelial bronquial es muy sensible. Las partículas alfa más ionizantes y de corto alcance son las de los isótopos de ^{214}Po y ^{218}Po (Tene, 2017, pp.5-74).

A pesar de todo, se considera las concentraciones de radón en lugar de sus productos de desintegración como las responsables de dosis de radiación que afecta al ser humano (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2019a, pp.1-64) porque la concentración de radón establece una adecuada variable que determina la concentración de los productos de desintegración del mismo, además las mediciones son relativamente más simples, eficientes y poco costosas (Organización Mundial de la Salud, 2015, pp.4-17).

Aunque los cánceres de pulmón son causados por la descendencia del radón de vida corta inhalado y no por el gas radón, es el gas radón el que se mide comúnmente y no su descendencia.

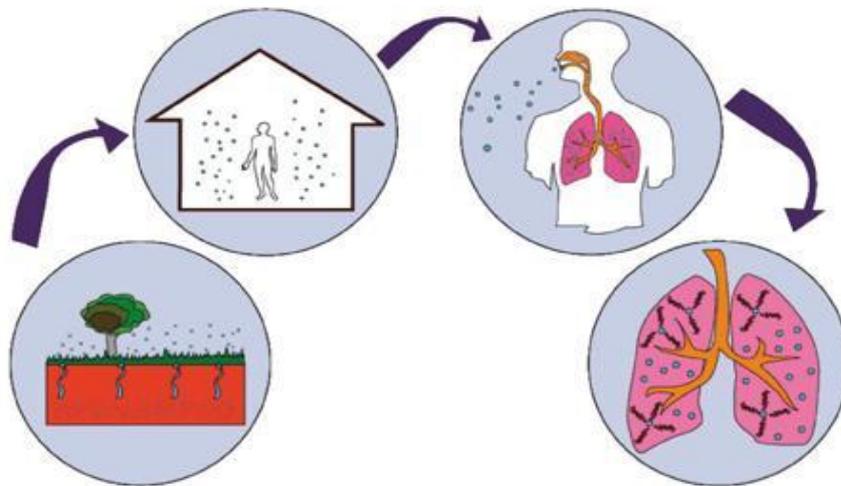


Figura 3-1. Inhalación de radón en el organismo

Fuente: (Synthesia Technology, 2022, p.1).

Cualquier gas inhalado, incluido el radón, es ligeramente soluble en los tejidos corporales. El radón en el pulmón se difunde a la sangre y se transporta a otros órganos, donde el gas y los productos de descomposición que se acumulan en el tejido emiten una dosis de radiación (National Research Council, 1999, pp.1-60).

Investigaciones sugieren que la incidencia de leucemia está asociado con exposiciones a radón, otras enfermedades también están correlacionadas con el radón, como cáncer de estómago por ingesta de agua (Organización Mundial de la Salud, 2015, pp.4-17) o productos alimenticios (United States

Environmental Protection Agency, 2022, párr.3).

En 2019, el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR) se reunieron en su sexagésima sexta sesión y aprobaron el reporte que resume los hallazgos de su evaluación científica del cáncer de pulmón por exposición al radón y concluye lo siguiente:

“... la cuestión de las fuentes y los efectos de la exposición al radón (^{222}Rn) y su descendencia, así como al torón¹⁶ (^{220}Rn) con respecto a los trabajadores y el público, confirmó sus conclusiones anteriores de que la inhalación de radón y sus productos de descomposición es cancerígeno principalmente para los pulmones y que las dosis a otros órganos y tejidos fueron por lo menos un orden de magnitud menores que las dosis a los pulmones” (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2019b, pp.1-70).

Este enunciado reitera los efectos adversos sobre la salud en el ser humano a causa del radón, haciendo un llamado a la concientización de los daños que puede causar este isótopo al estar en lugares con altos niveles de concentración del mismo.

1.1.4. Normativa y recomendaciones de organismos internacionales

La protección radiológica a lo largo de los años ha calado enormemente a nivel internacional, es por ello que organismos internacionales han intervenido para emitir criterios, técnicas, parámetros, normativas y leyes que regularicen la exposición a la radiación tanto en lugares de trabajo como en residencias. Sin embargo, existen diferencias en las regulaciones entre países, en especial sobre los niveles de radón en viviendas y lugares de trabajo.

La OMS (2021, párr.8) recomienda en las viviendas, en todos los países un promedio de referencia nacional de concentración de radón de 100 Bq m^{-3} . Una concentración de 300 Bq m^{-3} solo aplica en el caso de circunstancias que impidan el anterior valor. También recomienda la implementación de medidas de protección radiológica a través de normas en la construcción de edificaciones y viviendas, además de programas de control con el fin de establecer valores de concentración de radón inferiores a los nacionales de referencia. Estos valores de referencia son compatibles con las Normas de Seguridad del OIE (2016, p.2) y con el reporte de la UNSCEAR (2006, p.14). La dosis efectiva anual por este isótopo es de $1,1 \text{ mSv}$.

Según la USEPA (2016, p.4) se estima que el radón en interiores es alrededor de 48 Bq m^{-3} , y en el aire 15 Bq m^{-3} . El Congreso de los Estados Unidos tiene como objetivo a largo plazo de que los niveles de radón en interiores no superen los niveles en el exterior, sin embargo, este objetivo aún no es tecnológicamente alcanzable en todos los casos, la mayoría de los hogares en la actualidad pueden reducirse a 74 Bq m^{-3} . Por ello, la USEPA recomienda tomar medidas cuando los valores de concentración de radón superen los 148 Bq m^{-3} .

La Comunidad Europea de Energía Atómica (EURATOM) en su Directiva 2013/59 recomienda

que se actúe a partir de concentraciones de 400 Bq m⁻³ para viviendas más antiguas y 200 Bq m⁻³ para viviendas relativamente más nuevas. El nivel de referencia anual de radón en lugares de trabajo y recintos cerrados no debe superar los 300 Bq m⁻³, solo serán justificables por circunstancias existentes (Comunidad Europea de la Energía Atómica, 2013, p.25).

En Ecuador, el ente regulador de exposición a radiaciones ionizantes es la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN). Sin embargo, no existe documentación alguna que trate específicamente sobre el establecimiento de niveles de referencia nacionales a la exposición de radón.

1.1.5. Magnitudes físicas

- **Concentración de radón**

La concentración de gas radón es conocido como la actividad de este isótopo expresada como desintegraciones por unidad de tiempo en un volumen de aire. Las unidades de medida suelen ser Becquerelio por metro cúbico (Bq m⁻³) (Organización Mundial de la Salud, 2015, pp.4-17).

- **Tasa de exhalación superficial de radón**

La tasa de exhalación superficial del radón representa la concentración de este gas liberado por unidad de superficie al cabo de un intervalo de tiempo (Fuente, 2016, p.11).

- **Tasa de exhalación másica de radón**

La tasa de exhalación másica del radón representa la concentración de este gas liberado por unidad de masa al cabo de un intervalo de tiempo.

1.2. Materiales de construcción para uso decorativo en interiores

Los materiales de construcción de uso decorativos se pueden definir como la capa final que protege y fija la superficie de los elementos de construcción de un ambiente. Con la generación de nuevas técnicas de construcción moderna ha aumentado la tendencia de adicionar nuevas capas para proporcionar comodidad, e infraestructuras estables. Siendo necesario revestir el suelo (elemento estructural horizontal de la construcción) y los cielorrasos (parte superior del ambiente) para una apariencia adecuada, además de brindar protección a la construcción.

1.2.1. Cerámica

La cerámica es un tipo de material de construcción que abarca una gama de materiales no orgánicos ni metálicos para su obtención, procesadas a elevadas temperaturas, generalmente son duros, porosos, y quebradizos.

Baldosas: La baldosa cerámica (Figura 4-1) es un producto obtenido como resultado de una serie

de procesos como el modelado en donde adquiere forma, esmaltado y decoración, que le confieren su características físicas finales (Cárdenas-Muga, 2002, pp.1-15), tales como resistencia a impactos, a abrasión, refractariedad, al deslizamiento, etc.; poseen la desventaja de reaccionar con el calor. Su geometría describe una placa de dimensiones casi en su totalidad regulares y un grosor pequeño, usualmente de forma cuadrada, rectangular o romboide. Su superficie depende del modelo, unas son porosas y otras no, vidriadas y no vidriadas, decoradas o llanas, con texturas complejas o simples. Se las utiliza para recubrimiento de suelos y paredes, tomando el nombre de producto de acabado.



Figura 4-1. Baldosas cerámicas

Fuente: (Metropolitan, 2020, p.1).

Las baldosas cerámicas en función de su composición se las clasifica como (Proyect10, 2022, pp.1-20):

- *Baldosas cerámicas de pasta roja:* Este tipo de baldosas adquieren su color (amarillo hasta marrón intenso) dependiendo del contenido de óxido de hierro y óxido de magnesio.
- *Baldosas cerámicas de pasta blanca:* Su materia prima es la arcilla, no conteniendo algún tipo de óxidos, proporcionándole un color blanco tendiendo al grisáceo después del proceso de cocción.
- *Baldosas cerámicas más o menos porosas:* La porosidad va a depender principalmente del nivel de carbonatos que presenta la arcilla, de los procesos de elaboración y cocción.
- Según el tipo de acabados, las baldosas son esmaltadas o no esmaltadas (Binggeli, 2008, p.1-23):
- *Baldosas esmaltadas:* Son baldosas vidriadas, esmaltadas con polvo de cerámica, usados para pisos cuando se trata de edificaciones. Son resistentes a la abrasión y al deslizamiento.
- *Baldosas sin esmaltar:* Presentan un acabado mate con color de la arcilla que fue hecho, un ejemplo de este tipo son las baldosas de cantera, las cuales son planas no vidriadas de arcilla, presentando una tasa de absorción de agua hasta 6%. Estas baldosas son usadas para suelos por su resistencia al deslizamiento, aunque en el mercado existen baldosas con granos abrasivos que presentan una mejor tracción.

Gress: El gress podría describirse como una piedra hecha por el hombre. Es una cerámica compacta y dura, no porosa y coloreada (Binggeli, 2008, pp.24-28). Las materias primas usadas para

su elaboración son las arcillas plásticas, feldespato y arena feldespática, caolín, etc., las cuales se moldean, prensan y cocidas a más de 1300 °C. El gress es antideslizante, resistente al agua y cambios climáticos, además, puede imitar a materiales naturales como madera, piedra, granito y mármol (Velasca, 2020, pp. 1-38).

Porcelana: Es una cerámica fina, blanca, resistente, vítrea translúcida usada para fabricar azulejos, cerámica sanitaria, entre otros. Es un material aislante, generalmente hecho a base de caolín que es una arcilla blanca fina que se cuece a una temperatura baja y luego es vidriada para volver a cocerla a una temperatura alta. El esmalte de porcelana es una superficie de vidrio dura y brillante que se fusiona con metal u otra superficie de cerámica (Binggeli, 2008, p.43).

1.2.2. Yeso

El yeso en ambientes sedimentarios, representa uno de los materiales más comunes. Se compone de sulfato de calcio deshidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cal con agua, arena y a veces, fibras de vidrio. Su color generalmente varía de blanco a blanco grisáceo, sin embargo, generalmente presenta impurezas tales como arcilla, óxido de hierro, sílice y caliza. Se caracteriza por su baja conductividad térmica, no abrasivo, con una baja temperatura de calcinación y función antioxidante por lo cual es utilizado en acabados de construcción, para mejorar las condiciones físicas del suelo (Dirección General de Desarrollo Minero, 2020, p.13).

El yeso tiene variedad de presentaciones para uso comercial, y cada una de ellas depende del tipo de aplicación que se desee, por ejemplo, el gypsum durable y el estuco son variedades de yeso utilizados para interiores.

Gypsum: Son placas de yeso fabricadas a partir de yeso parcialmente deshidratado o calcinado produciendo sulfato de calcio hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) comúnmente conocido como estuco, al cual se añade aditivos secos (perlita, almidón, fibra de vidrio) más agua para crear una suspensión espesa la cual es esparcida entre dos hojas de papel, que son llevadas al horno para secarlas, adquiriendo una estructura sólida (Figura 5-1).



Figura 5-1. Gypsum

Fuente: (Etex, 2022).

El gypsum se caracteriza por ser un aislante térmico por su bajo nivel de conductividad térmica, además reduce a transmisión de sonido (Dirección General de Desarrollo Minero, 2020, p.24). En el mercado existe tipos de gypsum como se muestra en la siguiente Tabla 2-1:

Tabla 2-1: Tipos de gypsum

Tipos de gypsum	Característica
Plancha de gypsum Light	Incorpora principalmente el uso de perlita expandida, vermiculita y otros agregados ligeros para reducir la densidad del material resultante.
Plancha de gypsum guard	Es una plancha resistente a la humedad y al moho, usado como una superficie base para aplicación de adhesivos en azulejos cerámicos o plásticos.
Gypsum reforzado con fibras naturales	Empleo de fibras naturales ecológicas de yeso incorporadas con corcho, tallo de algodón. Se caracteriza por su naturaleza reciclable, bajo costo, baja densidad y baja conductividad térmica.
Plancha de gypsum modificado sintéticamente	Presentan un refuerzo de polímero sintético, eficaces debido a su propiedad distinguida. El revoque de yeso también se utiliza junto con una resina hipoxia por su rendimiento superior, excelente adherencia, alta resistencia a la flexión y tracción por compresión, con una resistencia química excepcional.

Fuente: (Sakthieswaran y Babu, 2016, pp.1-39).

Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022.

Estuco: Conocido convencionalmente como yeso de cemento, fabricado a partir de cemento, arena y agua, que en muchas ocasiones se adiciona plastificantes como la cal. Se caracteriza por ser un material de revestimiento duro, fuerte, resistencia térmica, impide la humedad y proliferación de hongos. En el concreto ayuda a sellar los poros superficiales de este, dándole una superficie más lisa que permite un mejor acabado en los recubrimientos, también usado para iluminar techos y paredes (González, 2012, p.21).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Población de estudio

La concentración de radón en materiales de construcción como se vio en el Capítulo I, apartado 1.1 señalan la importancia de recabar información sobre la tasa de exhalación en estos materiales, usados en viviendas o edificaciones donde pasa el ser humano gran parte de su vida.

La población de estudio constituye todos los materiales de construcción de uso decorativo para piso y tumbado.

La muestra de la población fue baldosas de tres marcas diferentes, gypsum y estuco.

En baldosas se estudió 5 tipos diferentes, de las cuales una pertenece a la marca Italpiso fabricada en la ciudad de Cuenca cuya materia prima es obtenida del Oriente; otro tipo de baldosas que se analizó fueron de la marca Rialto fabricada también en la ciudad de Cuenca cuya materia prima es obtenida del Oriente y las últimas baldosas analizadas fueron de la marca Ecuaceramica producida en Riobamba cuya materia prima es traída desde el Oriente, cantón Sushufindi.

El gypsum de la marca comercial El Rey, importado desde Perú y el estuco fabricado artesanalmente, cuya materia prima proviene de las minas de yeso de Guayaquil y carrizos de Riobamba.

2.2. Sistema de detección

El sistema E-PERM usado como método de medición de radón fue inventado por Payasada Kotrappa, patentado, fabricado y extensamente comercializado por la compañía Rad Elec. Inc procedente de los Estados Unidos.

El sistema E-PERM permite medir la tasa de exhalación de gas radón a través de varios métodos, entre estos: Short Term (ST) llamado también de corto plazo (1-7 días) y Long Term (LT) conocido como largo plazo (1-2 meses) (Kotrappa et al., 1990, p.462).

La presente investigación se realizó a través del sistema E-PERM ST (Figura 1-2) que consta de una cámara de ionización tipo S (210 ml), Electret ST, Electret de referencia para puesta a cero, lector de voltaje de Electret, acumulador de vidrio (3,72 L) y caja de plástico para depositar la muestra (dimensiones 9,1cm x 3,6 cm x 7,9 cm).



Figura 1-2. Sistema E-PERM ST

Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022.

La cámara de ionización tipo S (Figura 2-2), es una cámara de plástico que permite el ingreso de radón exhalado de las muestras de materiales de construcción contenidos en los acumuladores de vidrio, por difusión pasiva hacia su interior a través de orificios de entrada ubicado en la parte superior de esta cámara, los productos de desintegración de este isótopo ionizan las moléculas de aire contenidos en la cámara y son recolectados por el campo electrostático que produce el electrete acoplado en el interior de la cámara, luego la carga superficial del Electret es neutralizada por la acumulación de iones disminuyendo el voltaje superficial del Electret en proporción a la concentración de radón y al tiempo de exposición (Rad Elec Inc, 2022, p.9).

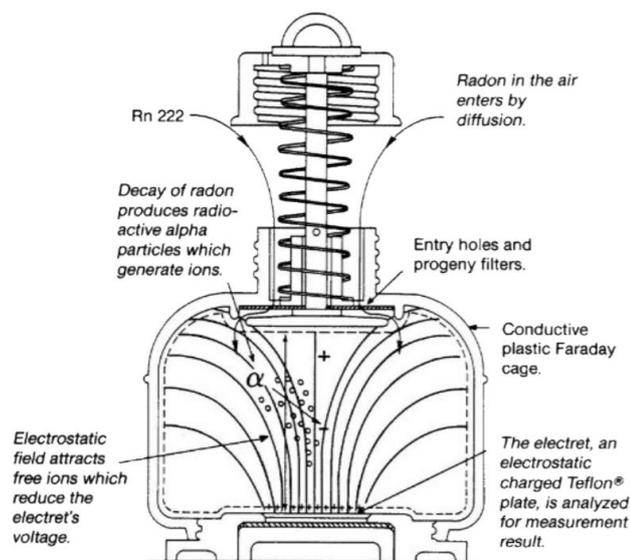


Figura 2-2. Detección de radón con el sistema E-PERM

Fuente: (Rad Elec Inc, 2022, p.9).

Un Electret ST es un disco de teflón (politetrafluoroetileno PTFE) el cual ha sido cargado eléctricamente, posee un grosor de 0,152 cm, tiene una alta sensibilidad ($\pm 1V$) usado principalmente para mediciones de corto plazo (Kotrappa et al., 1990, p.462). Usualmente vienen con un voltaje de fábrica 700 – 780 voltios, de los cuales 500 voltios son utilizables ya que Electret cargados con menos 100 voltios generan un campo electroestático más débil que evitan recolectar iones de manera eficiente

2.3. Protocolo de preparación de muestras

Las muestras fueron preparadas en tres fases descritas a continuación:

i) Trituración

Se trituraron las muestras de baldosa, gypsum y estuco.

ii) Tamizado

Se tamizaron las muestras a través de un tamiz de granulometría 0,5 mm.

iii) Almacenamiento

Se etiquetaron y almacenaron las muestras en fundas ziploc hasta cuando sean usadas para analizarlas.

2.4. Procedimiento para evaluar la tasa de exhalación de radón

2.4.1. Tasa de exhalación superficial

La tasa de exhalación superficial del radón en los materiales de construcción para uso decorativo se obtuvo a partir de la Ecuación (1) (Kotrappa y Stieff, 2009, p.164).

$$E_s = \frac{RnC \times Vol \times \lambda_{Rn}}{A \times Z} \quad (1)$$

Donde,

E_s , tasa de exhalación superficial de radón en unidades de $[Bq m^{-2}h^{-1}]$.

RnC , concentración de radón en $[Bq m^{-3}]$.

Vol , volumen de aire en el acumulador de vidrio $[m^3]$. Obtenido de la diferencia entre el volumen del acumulador de vidrio, y el volumen de la caja de plástico y volumen de la cámara tipo S.

λ_{Rn} , constante de decaimiento del radón ($0,1814 d^{-1}$).

A , área de exhalación de la muestra en $[m^2]$.

Z , constante adimensional que relaciona el tiempo de exposición T con λ_{Rn} , Ecuación (2).

$$Z = 1 - \left(\frac{1 - e^{-\lambda_{Rn}T}}{\lambda_{Rn} T} \right) \quad (2)$$

2.4.1.1. Concentración de radón

Para calcular la concentración de radón (RnC) se emplea la Ecuación (3) (Rad Elec Inc, 2022, p.23):

$$RnC = \left[\frac{(V_i - V_f) - (V_{inh} \times T)}{(T)(FC)} - BG \right] \times FC_{elev} \quad (3)$$

Donde,

- **V_i** y **V_f**, voltaje inicial y final en unidades de voltios [V].
- **V_{inh}**, voltaje inherente de descarga por día en unidades de voltios por día [V d⁻¹]. Toma un valor de 0,066667 para electretes ST.
- **T**, tiempo de exposición en unidades de días [d].
- **FC**, el factor de calibración se define como la caída de voltaje del electrete cuando este y la cámara de ionización se exponen durante un día a una concentración de 37 Bq m⁻³ equivalente a un pico Curie por litro [pCiL⁻¹]. El FC se relaciona logarítmicamente con el voltaje del electrete en un rango aproximado de 100 a 750 voltios. Para el ST este factor se calcula mediante la Ecuación (4) y está en unidades de voltio [V] por [Bq m⁻³ d] (Rad Elec Inc, 2022, p.22) .

$$FC = A + B \times \ln\left(\frac{V_i + V_f}{2}\right) \quad (4)$$

Donde, la constante A es igual a 0,00849927 y B igual a 0,00704376 (Rad Elec Inc, 2022, p.21), si se desea valores en pico Curie por litro [pCi L⁻¹] se multiplica estos coeficientes por 37 (Kotrappa et al., 1990, p. 463).

- **FC_{elev}**, factor de corrección de elevación (adimensional). Para cámaras tipo S, si la elevación del lugar en donde se realiza el análisis es menor o igual a 1219 metros entonces es igual a la unidad; pero si es mayor entonces el valor de FC_{elev} viene definido por la Ecuación (5) (Rad Elec Inc, 2022, p.22).

$$FC_{elev} = 0,79 + 6 \times \frac{Elev [m]}{30480 [m]} \quad (5)$$

Donde Elev es la altura en metros del lugar donde se realizó el análisis.

- **BG**, fondo gamma en unidades de en unidades de [Bq m⁻³]. Donde de 0,1 uGy h⁻¹ es equivalente a 32 Bq m⁻³ (Kotrappa et al., 1990, p.463).

2.4.2. Tasa de exhalación másica

Para calcular la tasa de exhalación másica se reemplazó en la Ecuación (1) el área (A) por la masa (M) de la muestra, representado en la siguiente Ecuación (6):

$$E_m = \frac{RnC \times Vol \times \lambda_{Rn}}{M \times Z} \quad (6)$$

Donde,

E_m , tasa de exhalación másica de radón en unidades de [Bq kg⁻¹h⁻¹].

M , masa de la muestra en [kg].

2.4.3. Procedimiento experimental

En este estudio se diseñó dos tipos de experimentos para determinar el desempeño del sistema de detección de radón E-PERM ST, en base al tiempo mínimo y máximo de exposición que permite el detector. El primero con un tiempo de un día y el segundo con un tiempo de exposición de siete días.

El procedimiento experimental para el análisis de las muestras fue el siguiente:

- i) Colocar la muestra tamizada en la caja de plástico y pesarla (249-302 gramos)
- ii) Encerar el lector de voltaje usando el Electret de referencia para puesta a cero,
- iii) Medir el voltaje inicial del Electrete ST.
- iv) Acoplar el Electrete a la cámara de ionización tipo S.
- v) Colocar la muestra en el interior del acumulador de vidrio.
- vi) Colgar el sistema de detección en la tapa del acumulador de vidrio; cerrar y sellar muy bien el acumulador con ayuda del collarín y abrazaderas para evitar radiación de fuga.
- vii) Anotar hora y fecha de inicio del análisis.
- viii) Al cumplirse el tiempo de exposición (1 o 7 días), medir el voltaje final anotando fecha y hora.
- ix) Medir el fondo gamma del lugar en que se realizó el experimento.
- x) Calcular la concentración de radón mediante la Ecuación (3).
- xi) Finalmente, calcular la tasa de exhalación superficial con la Ecuación (1) y la tasa de exhalación másica con la Ecuación (6).

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Resultados de tasa de exhalación superficial de radón

Los resultados de este estudio se presentarán en dos grupos, el primer grupo material decorativo para pisos, en específico las baldosas de diferente marca y el segundo grupo material decorativo para tumbados, en particular estuco y gypsum.

3.1.1. Tasa de exhalación superficial de radón en baldosas

La Tabla 1-3 muestra las características de las baldosas analizadas, la masa, el tiempo de exposición y las tasas de exhalación superficial de baldosas de diferente marca y procedencia. Se puede observar que únicamente las baldosas blanca y roja, las medidas con tiempos de exposición de 1 y 7 días son compatibles dentro de los errores experimentales excepto la baldosa ploma, café y gris donde se evidencia que presentan gran variabilidad en los valores arrojados en un tiempo de exposición de 1 y 7 días conduciendo a un bajo grado de compatibilidad dentro de los errores experimentales. También es evidente que la medida de 7 días es más precisa que aquella de 1 día. Por ello, en este estudio se reportan los valores correspondientes a 7 días.

La máxima tasa de exhalación superficial de radón se observó en la baldosa ploma ($0,67 \pm 0,06 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), de la marca Ecuaceramica cuya materia prima proviene del cantón Shushufindi ubicado en el Oriente ecuatoriano. Por otro lado, la baldosa que menor tasa de exhalación tiene es la baldosa roja ($0,28 \pm 0,03 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), de la marca Italpisos cuya materia prima también es obtenida del Oriente ecuatoriano. Por lo tanto, el rango de tasa de exhalación de radón del grupo de baldosas analizadas es de 0,28 a $0,67 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Tabla 1-3: Tasa de exhalación superficial de radón en muestras de baldosas

Marca	Muestra	Masa (gr.)	Tiempo (días)	Es ($\text{Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Error abs. ($\text{Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Error %
ITALPISOS	Baldosa blanca	262	1	0,50	0,35	70
		262	7	0,46	0,04	10
	Baldosa roja	249	1	0,49	0,34	70
		275	7	0,28	0,03	11
ECUACERAMICA		249	1	4,92	1,75	36

	Baldosa ploma	297	7	0,67	0,06	9
	Baldosa café	284	1	2,73	1,29	47
		284	7	0,48	0,05	10
RIALTO	Baldosa gris	302	1	2,84	1,34	47
		265	7	0,37	0,04	10

Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022.

3.1.2. Tasa de exhalación superficial de radón en estuco y gypsum

La Tabla 2-3 muestra las características del estuco y gypsum analizados, su masa, el tiempo de exposición y las tasas de exhalación superficial de radón. El estudio de 1 y 7 días de exposición se realizó solo para el estuco, mientras que para el gypsum el tiempo de exposición fue de 7 días. Se evidencia que, en el estuco, la medida de 7 días es más precisa que la de 1 día, por consiguiente, solo se reportará el valor correspondiente a 7 días.

Se observa que la tasa de exhalación superficial de radón del estuco ($0,30 \pm 0,03 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) es mayor que la tasa de exhalación superficial de gypsum ($0,25 \pm 0,03 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), sugiriendo que la materia prima para elaborar estuco posee mayor presencia de radón que el gypsum.

Tabla 2-3: Tasa de exhalación superficial de radón en muestras de estuco y gypsum

Muestra	Masa (gr.)	Tiempo (días)	Es ($\text{Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Error abs. ($\text{Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Error %
ESTUCO	270	1	2,83	1,33	47
	228	7	0,30	0,03	11
GYPSUM	245	7	0,25	0,03	11

Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022

3.1.3. Comparación de tasas de exhalación superficial

El Gráfico 1-3 muestra las tasas de exhalación superficial de radón de las siete muestras de material decorativo analizado. La línea roja representa el valor medio de exhalación de las muestras de materiales de construcción de uso decorativo estudiados, cuyo valor es $0,34 \pm 0,01 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (1σ). Se aprecia que la baldosa ploma ($0,67 \pm 0,06 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) de la marca Ecuaceramica es quien posee mayor tasa de exhalación superficial y el gypsum es el material que menor tasa de exhalación presenta. Todas las muestras de baldosas tienen tasas de exhalación por encima de la media, a excepción de la baldosa roja de Italtapis; en cambio, las muestras de estuco y gypsum

están por debajo de la media. Lo que supone que los materiales de construcción para uso decorativo usados en pisos (baldosas) presentan mayor tasa de exhalación que los materiales de construcción de uso decorativo usados en tumbados (estuco y gypsum).

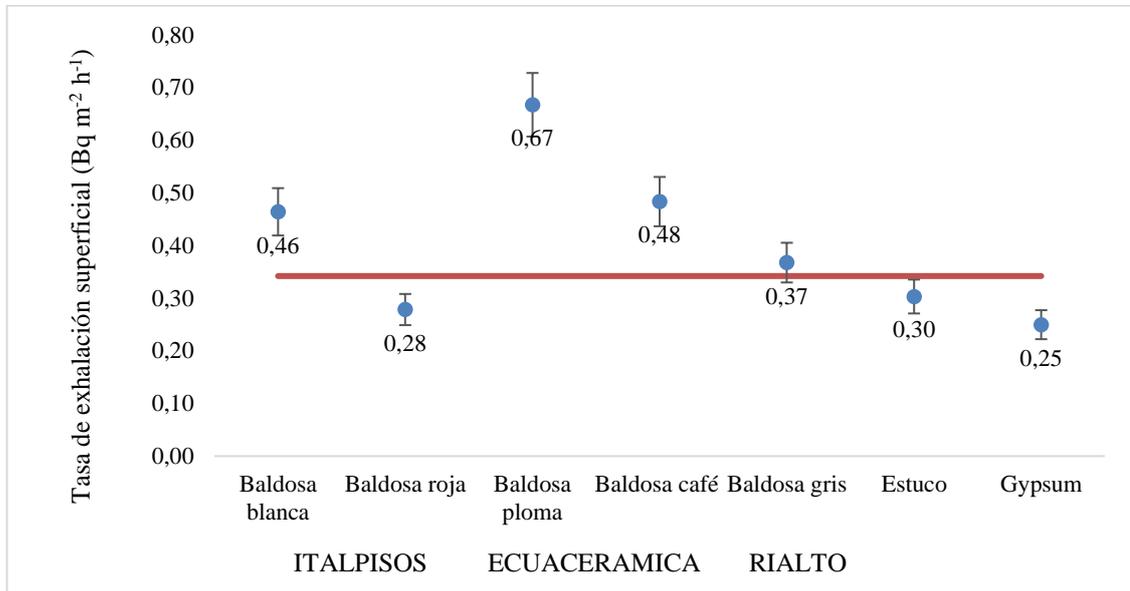


Gráfico 1-3: Tasa de exhalación superficial de radón en baldosa, estuco y gypsum

Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022.

3.2. Resultados de tasa de exhalación másica de radón

3.2.1. Tasa de exhalación másica de radón en baldosas

La Tabla 3-3 muestra las tasas de exhalación másica de radón en baldosas estudiadas en un tiempo mínimo de 1 días y un tiempo máximo de exposición de 7 días. Se observa las baldosas que presentan alto grado de compatibilidad dentro de sus errores experimentales son la baldosa blanca y roja, no así en el caso de las baldosas ploma, café y gris pues estas dentro de un tiempo de exposición de 1 y 7 días presentan gran variabilidad en su medida, teniendo un bajo grado de compatibilidad dentro de sus errores experimentales. También al observar las incertidumbres de los valores de tasa de exhalación másica es evidente que la medida de 7 días es más precisa que la de 1 día, por consiguiente, en este estudio se reportan los valores correspondientes al tiempo de exposición de 7 días.

La baldosa ploma ($0,0074 \pm 0,0006 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de la marca Ecuaceramica es quien posee mayor tasa de exhalación másica mientras que la baldosa roja ($0,0033 \pm 0,0003 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de Italpiso posee la menor tasa de exhalación másica. En general, la tasa de exhalación en baldosas analizadas oscila en un rango de: $0,0033$ a $0,0074 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Tabla 3-3: Tasa de exhalación másica de radón en muestras de baldosas

Marca	Muestra	Masa (gr.)	Tiempo (días)	Em (Bq kg ⁻¹ h ⁻¹)	Error abs. (Bq kg ⁻¹ h ⁻¹)	Error %
ITALPISOS	Baldosa blanca	262	1	0,0062	0,0044	70
		262	7	0,0058	0,0005	9
	Baldosa roja	249	1	0,0064	0,0045	70
		275	7	0,0033	0,0003	10
ECUACERAMICA	Baldosa ploma	249	1	0,0647	0,0230	36
		297	7	0,0074	0,0006	9
	Baldosa café	284	1	0,0315	0,0148	47
		284	7	0,0056	0,0005	9
RIALTO	Baldosa gris	302	1	0,0308	0,0145	47
		265	7	0,0045	0,0004	10

Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022.

3.2.2. Tasa de exhalación másica de radón en estuco y gypsum

La Tabla 4-3 muestra los valores de tasa de exhalación másica de radón en muestras de estuco y gypsum. El estudio de 1 y 7 días de exposición se realizó solo para el estuco, mientras que para el gypsum el tiempo de exposición solo fue 7 días. Como en el caso anterior, se evidencia que, en el estuco, la medida 7 días es más precisa que la de 1 día, por ello, solo se reportará el valor correspondiente a 7 días.

Se observa que la tasa de exhalación másica de radón del estuco ($0,0044 \pm 0,0004$ Bq kg⁻¹ h⁻¹) es mayor que la tasa de exhalación másica de radón del gypsum ($0,0033 \pm 0,0004$ Bq kg⁻¹ h⁻¹), esto como consecuencia de la procedencia de la materia prima.

Tabla 4-3: Tasa de exhalación másica de radón en muestras de estuco y gypsum

Muestra	Masa (gr.)	Tiempo (días)	Em (Bq kg ⁻¹ h ⁻¹)	Error abs. (Bq kg ⁻¹ h ⁻¹)	Error %
ESTUCO	270	1	0,0343	0,0162	47
	228	7	0,0044	0,0004	10
GYP SUM	245	7	0,0033	0,0004	11

Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022.

3.2.3. Comparación de tasas de exhalación másica

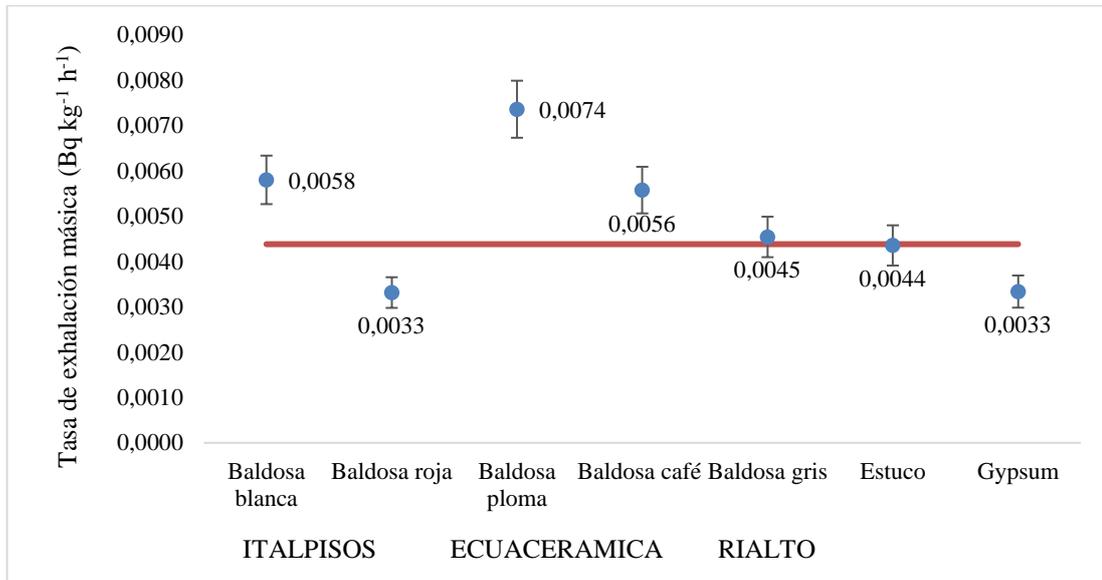


Gráfico 2-3: Tasa de exhalación másica de radón en baldosa, estuco y gypsum

Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022.

El Gráfico 2-3 muestra la tasa de exhalación másica de radón de las siete muestras material decorativo analizado. La línea roja representa el valor medio de tasa de exhalación másica de radón de las muestras de materiales de construcción de uso decorativo estudiadas, cuyo valor es $0,0044 \pm 0,0002 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (1σ). Se aprecia que el material que mayor tasa de exhalación másica pertenece a la muestra de baldosa ploma ($0,0074 \pm 0,0006 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de la marca Ecuaceramica mientras que la menor tasa de exhalación másica corresponde a las muestras de baldosa roja ($0,0033 \pm 0,0003 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y al gypsum ($0,0033 \pm 0,0004 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). También se muestra que la tasa de exhalación en baldosa blanca de Italpisos, baldosa ploma y café de Ecuaceramica están por encima de la media; mientras que el gypsum y baldosa roja están por debajo de la media; y que la baldosa gris de Rialto y el estuco están en el rango de exhalación medio. En base al gráfico podemos determinar que, en general, los materiales de construcción para uso decorativo en pisos (baldosas) presentan mayor rango de tasa de exhalación másica que los materiales de construcción para uso decorativo en tumbados (estuco y gypsum).

CONCLUSIONES

Se calculó las tasas de exhalación superficial y másica de cinco muestras de baldosas pertenecientes a diferentes marcas comerciales en Ecuador (Ecuaceramica, Italpisos y Rialto), por medio del sistema E-PERM ST. La baldosa ploma de Ecuaceramica presentó una mayor tasa de exhalación superficial y másica de radón mientras que la baldosa roja de Italpisos presentó la menor tasa de exhalación superficial y másica. Por lo que se concluye que el rango de tasa de exhalación superficial y másica de radón en las baldosas estudiadas es $0,28$ a $0,67 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y $0,0033$ a $0,0074 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente.

Se calculó las tasa de exhalación en una muestra de estuco y una de gypsum, donde se determinó que la tasa de exhalación superficial y másica del estuco ($0,30 \pm 0,03 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y $0,0044 \pm 0,0004 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) es mayor que la del gypsum ($0,25 \pm 0,03 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y $0,0033 \pm 0,0004 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), por lo que se puede inferir que la materia prima usada para fabricar el estuco presenta mayor radiactividad que la materia prima para elaborar el gypsum.

La comparación de las tasas de exhalación superficial y másica de radón de todas las muestras de materiales de construcción para uso decorativo analizados en pisos (baldosas) y tumbados (estuco y gypsum) permite concluir que los materiales decorativos en pisos tienen mayor tasa de exhalación que los materiales decorativos en tumbados.

RECOMENDACIONES

Se recomienda controlar que todas las muestras no presenten humedad ya que la presencia de agua en muestras puede conllevar a una variabilidad en la medida porque se conoce que el radón puede diluirse en las moléculas de agua, impidiendo que la muestra exhale todo el contenido de radón presente en ella.

Se recomienda realizar medidas en materiales de construcción de uso decorativo como los estudiados en esta investigación, pero con muestras que no hayan sido llevadas a un proceso de trituración sino en partes o pedazos sólidos de estas muestras.

BIBLIOGRAFÍA

AL-AZMI, D. et al., Setup and procedure for routine measurements of radon exhalation rates of building materials. *Radiation Measurements* 2018. , vol. 112, pp. 6-10. ISSN 1350-4487. DOI 10.1016/J.RADMEAS.2018.03.001.

AMANCHA, J.E. *EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL GAS RADÓN EN LADRILLOS ARTESANALES EN LAS PARROQUIAS: JUAN MONTALVO-SAN SEBASTIAN E IGNACIO FLORES COMUNIDAD LA VICENTINA DE LA CIUDAD LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI* [en línea], 2021. . S.l.: Universidad Técnica de Ambato. [Consulta: 21 enero 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/219854392-Universidad-tecnica-de-ambato-facultad-de-ingenieria-civil-y-mecanica-carrera-de-ingenieria-civil.html>.

BERNAL, J.P. et al., Revisión a algunos geocronómetros radiométricos aplicables al Cuaternario. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* [en línea], 2010. , vol. 62, no. 3, pp. 305-323. [Consulta: 21 enero 2022]. ISSN 1405-3322. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222010000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

BINGGELI, C., *Materials for Interior Environments* [en línea], 2008. . Canadá: John Wiley & Sons. 2008 [Consulta: 26 enero 2022]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=XgbguEkYT_0C&oi=fnd&pg=PR10&dq=Materials+for+Interior+Binggeli,+Corky&ots=84n3YDckTZ&sig=6hvStDs8HfkpZzp27NrJRXhMBP4&redir_esc=y#v=onepage&q=Materials+for+Interior+Binggeli%2C+Corky&f=false.

BOSSEW, P., The radon emanation power of building materials, soils and rocks. *Applied Radiation and Isotopes* [en línea], 2003. , vol. 59, no. 5-6, pp. 389-392. [Consulta: 22 enero 2022]. ISSN 0969-8043. DOI 10.1016/J.APRADISO.2003.07.001. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969804303002239>.

CÁRDENAS-MUGA, J.L. *Industria cerámica en el Ecuador: Evaluación de las Materias Primas No-Metálicas* [en línea], 2002. . Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. [Consulta: 25 enero 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/4385/6905.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

COMUNIDAD EUROPEA DE LA ENERGÍA ATÓMICA, 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 otras Directivas - Normativa U. *Euratom* [en línea], 2013. . [Consulta: 25 enero 2022]. Disponible en: https://www.csn.es/normativa-del-csn/normativa-ue/-/asset_publisher/3m7UYS0jY5X3/document/id/896893.

COTHERN, R. y SMITH, J., *Environmental Radon* [en línea], 2013. . 1. Estados Unidos, Nueva York: Springer Science and Business Media New York. 2013 [Consulta: 21 enero 2022]. ISBN 978-1-4899-0473-7. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=PSb5BwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=radon+&ots=Yoih47-Swo&sig=JVEQ9OzVVG30yfkpllxL5GtSYwI&redir_esc=y#v=onepage&q=radon&f=false.

DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO MINERO. Perfil de mercado del yeso. *Secretaría de Economía* [en línea], 2020. . [Consulta: 26 enero 2022]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564108/Yeso_2020__ENE_.pdf.

DIZMAN, S. y KESER, R., Natural radioactivity in ceramic tiles and associated radiological hazards. *International Journal of Radiation Research* [en línea], 2019. , vol. 17, no. 2, pp. 245-252. [Consulta: 17 enero 2022]. DOI 10.18869/acadpub.ijrr.17.2.245. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Serdar-Dizman/publication/345149096_Natural_radioactivity_in_ceramic_tiles_and_associated_radiological_hazards/links/5f9f2aa4a6fdccfd7b947a58/Natural-radioactivity-in-ceramic-tiles-and-associated-radiological-hazards.p.

ETEX. Plancha de Gypsum Gyplac Estándar - Gypsum Etex Ecuador. *Etex-Inspiring ways of living* [en línea], 2022. . [Consulta: 26 enero 2022]. Disponible en: <https://www.etex.com.ec/producto/placa-de-gypsum-gyplac-estandar/>.

FRUTOS, B. y OLAYA, M., Protección frente a la emisión de gas radón en edificios. *Colección de Informes Técnicos* [en línea], 2010. , pp. 5-71. [Consulta: 22 enero 2022]. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT04.20+Protección+frente+a+la+inmisión+de+gas+radón+en+edificios>.

FUENTE, M. *Estudio de diferentes técnicas para la medida de exhalación de radón en suelos* [en línea], 2016. . España-Cantabria: Universidad de Cantabria. [Consulta: 14 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/9385>.

GONZÁLEZ, F. *Estuco: Conocido convencionalmente como yeso de cemento, fabricado a partir de cemento, arena y agua, que en muchas ocasiones se adiciona plastificantes como la cal. Se caracteriza por ser un material de revestimiento duro, fuerte, resistencia térmica, im* [en línea], 2012. . Madrid-España: Universidad Politécnica de Madrid. [Consulta: 26 enero 2022]. Disponible en: https://oa.upm.es/39395/1/Francisco_Gonzalez_Yunta.pdf.

HIDROVO, D.D. *Determinación del coeficiente de exhalación máscico de los materiales de construcción más usados en el cantón Riobamba.* [en línea], 2019. . Ecuador-Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Consulta: 21 enero 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10271>.

IAEA. Protection of the public against exposure indoors due to radon and other natural sources of radiation. [en línea], 2015. . Viena: [Consulta: 24 mayo 2019]. Disponible en: <http://www-ns.iaea.org/standards/>.

IMMÉ, G. et al., Radon exhalation measurements for environmental and geophysics study. *Radiation Physics and Chemistry* [en línea], 2014. , vol. 95, pp. 349-351. [Consulta: 22 enero 2022]. ISSN 0969-806X. DOI 10.1016/J.RADPHYSHEM.2013.02.033. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969806X13001126>.

KELLER, G. et al., Radon permeability and radon exhalation of building materials. *Science of The Total Environment* [en línea], 2001. , vol. 272, no. 1-3, pp. 85-89. [Consulta: 22 enero 2022]. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/S0048-9697(01)00669-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969701006696>.

KOTRAPPA, P. et al., A PRACTICAL E-PERMTM (ELECTRET PASSIVE ENVIRONMENTAL RADON MONITOR) SYSTEM FOR INDOOR ^{222}Rn MEASUREMENT*. *Health Physics* [en línea], 1990. , vol. 58, no. 4, pp. 461-467. [Consulta: 31 enero 2022]. DOI 10.1097/00004032-199004000-00008. Disponible en: http://www.radelec.com/publications/Kotrappa_PracticalEPERMSsystem.pdf.

KOTRAPPA, P. y STIEFF, F., Radon exhalation rates from building materials using electret ion chamber radon monitors in accumulators. *Health physics* [en línea], 2009. , vol. 97, no. 2, pp. 163-166. [Consulta: 1 febrero 2022]. ISSN 1538-5159. DOI 10.1097/HP.0B013E3181A9AB15. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19590276/>.

METROPOLITAN. Bedrosians Metropolitan 310 Mayflower Red Honed Ceramic Tile — Stone & Tile Shoppe, Inc. *Metropolitan* [en línea], 2020. . [Consulta: 26 enero 2022]. Disponible en: <https://stoneandtileshoppe.com/products/metropolitan-310-mayflower-red-honed-ceramic-tile>.

MEZA, B. *Elaboración de algoritmos en Matlab para calcular la tasa de exhalación de radón del concreto, usando la técnica de cámara cerrada.* 2021. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, *Dosimetry of Inhaled Radon and its Associated Risk* [en línea], 1999. . Washington, DC: National Academies Press (US). 1999 [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK230518/>.

NOVERQUES, A., Desarrollo de metodologías para la realización de mediciones de exhalación de Radón 222. [en línea], 2017. , [Consulta: 22 enero 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/87278>.

ORBE, J. *Radon measurement techniques in building materials and water using Italian and Ecuadorian samples.* 2021. Tesis doctoral. Universidad de la Calabria.

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA. Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. [en línea], 2016. . Viena: [Consulta: 1 abril 2019]. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/publications/10812/proteccion-radiologica-y-seguridad-de-las-fuentes-de-radiacion-normas-basicas-internacionales-de-seguridad>.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Manual de la OMS sobre el radón en interiores. [en línea], 2015. , no. 978 92 4 354767 1. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671_spa.pdf.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. El radón y sus efectos en la salud. *OMS* [en línea], 2021. . [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Radon. *OMS* [en línea], 2022. . [Consulta: 21 enero 2022]. Disponible en: https://www.who.int/health-topics/radon#tab=tab_1.

PROYECTO10. ¿Quieres saber que son exactamente los revestimientos cerámicos? . *proyectos10*

[en línea], 2022. . [Consulta: 26 enero 2022]. Disponible en: <https://proyectos10.es/quieres-saber-que-son-exactamente-los-revestimientos-ceramicos/>.

RAD ELEC INC, E-PERM ® SYSTEM USER'S MANUAL E-PERM ® Manual. *Rad Elec Inc* [en línea], 2022. , pp. 1-45. [Consulta: 31 enero 2022]. Disponible en: http://www.radelec.com/manuals/Manual-E-PERM_v3_3_2.pdf.

RIGHI, S. y BRUZZI, L., Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings. *Journal of Environmental Radioactivity* 2006. , vol. 88, no. 2, pp. 158-170. ISSN 0265-931X. DOI 10.1016/J.JENVRAD.2006.01.009.

SAKTHIESWARAN, S. y BABU, G., Gypsum as a Construction Material- A Review of Recent Developments. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology* [en línea], 2016. , vol. 2, no. 12. [Consulta: 26 enero 2022]. Disponible en: <http://www.ijirst.chauhananand.com/Article.php?manuscript=IJIRSTV2I12116>.

SYNTHESIA TECHNOLOGY. Los efectos nocivos del radón en la salud - Aislamiento óptimo. [en línea], 2022. . [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: <https://blog.synthesia.com/es/radon-efectos-salud>.

TABAR, E. et al., Measurement of the radon exhalation rate and effective radium concentration in soil samples of southern Sakarya, Turkey: *SAGE journals* [en línea], 2016. , vol. 27, no. 2, pp. 278-288. [Consulta: 22 enero 2022]. ISSN 14230070. DOI 10.1177/1420326X16672510. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1420326X16672510>.

TENE, T. *Environmental Radon Measurements using a closed chamber for building materials and water and a feasible program for Ecuador* [en línea], 2017. . Rende, Italia: University of Calabria. [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: http://dspace.unical.it:8080/jspui/bitstream/10955/1305/1/Tene_Talia_Thesis.pdf.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, ANNEX B LUNG CANCER FROM EXPOSURE TO RADON CONTENTS-SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION. *UNSCEAR* [en línea], 2019a. , [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: https://www.unscear.org/docs/publications/2019/UNSCEAR_2019_Annex-B.pdf.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC

RADIATION, SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION. *UNSCEAR* [en línea], 2019b. , [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: https://www.unscear.org/docs/publications/2019/UNSCEAR_2019_Report.pdf.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Radioactive Material From Fertilizer Production. *USEPA* [en línea], 2022. . [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: <https://www.epa.gov/radtown/radioactive-material-fertilizer-production>.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, A Citizen's Guide to Radon The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon Indoor Air Quality (IAQ). *USEPA* [en línea], 2016. , vol. 12, no. 2. [Consulta: 21 enero 2022]. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/default/files/201612/documents/2016_a_citizens_guide_to_radon.pdf.

UNSCEAR. EFFECTS OF IONIZING RADIATION. [en línea], 2006. . VOLUME II. NEW YORK: [Consulta: 24 mayo 2019]. Disponible en: https://www.unscear.org/docs/publications/2006/UNSCEAR_2006_Report_Vol.II.pdf.

VELESACA, A. *Generación de un modelo de optimización en la dosificación de pastas cerámicas para porcelanato basado en programación lineal* [en línea], 2020. . Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca. [Consulta: 26 enero 2022]. Disponible en: https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UCUENCA_77fa2a54049ab9083aa3defe184c6a54.

WANG, X. et al., CFD based simulation of indoor radon distribution from the use of different brands of decorative glazed tiles made in China. *Radiation Effects and Defects in Solids* [en línea], 2021. , vol. 176, no. 5-6, pp. 549-557. [Consulta: 5 junio 2022]. ISSN 10294953. DOI 10.1080/10420150.2021.1881784. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10420150.2021.1881784>.



ANEXOS

ANEXO A. MUESTRAS DE BALDOSAS ANALIZADAS

<p>a) Baldosa café</p> 	<p>b) Baldosa roja</p> 	<p>c) Baldosa blanca</p> 
<p>d) Baldosa ploma</p> 	<p>e) Baldosa gris</p> 	

Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022.

ANEXO B. MONTAJE DEL SISTEMA E-PERM ST

a) Encerar y medir el voltaje del Electret ST



b) Acoplar el Electret ST en la cámara de ionización



c) Insertar la cámara de ionización y sellar muy bien el acumulador que contiene la muestra



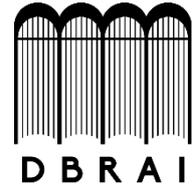
d) Sistema E-PERM ST listo para detectar radón durante un tiempo de exposición de 1 a 7 días



Realizado por: Vallejo, Gabriela. 2022.



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:

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: María Gabriela Vallejo Rojas
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Física
Título a optar: Física
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MS

