

# **MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE Rn 222 EN SÓTANOS DEL NUEVO PABELLÓN DE INGENIERÍA DE LA PUCP**

**Rojas, J.J.<sup>1, a</sup>, Pérez, B.A.<sup>1</sup>, Pereyra, P.E.<sup>1</sup>, López, M.E.<sup>1</sup> y Vilcampoma, L.P.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Escuela de posgrado, Sección Física, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.

## **RESUMEN**

La Pontificia Universidad Católica del Perú, en el contexto de los preparativos para celebrar su primer centenario ha previsto la construcción de un aulario de 11 niveles (8 pisos y 3 sótanos) al interior de su campus universitario. Aprovechando esta nueva construcción, se busca obtener data histórica de la evolución de la concentración de Rn 222 en una edificación reciente teniendo en cuenta factores ambientales y otros que lo afecten, las mediciones se hacen en los 3 niveles de sótanos del edificio. Se muestran los primeros resultados de la historia de la concentración de Rn 222 en los sótanos de éste edificio, usados como estacionamiento vehicular. El monitoreo se ha realizado desde la primera semana en que se abrió al público. La técnica de huellas nucleares es aplicada sobre detectores de nitrato de celulosa (LR 115). Se evalúan las variaciones en la concentración de Rn 222 considerando aspectos como uso de extractores de aire, aumento en el número de vehículos, tiempo de construcción y parámetros estacionales.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Casi todos los radioisótopos que existen en la naturaleza pertenecen a una de las tres series radiactivas que existen en la naturaleza, torio, actinio y uranio [1]. Los isotopos del radón pertenecientes a estas series radiactivas y las creadas artificialmente son incoloros e inodoros, el más estable de los isotopos del radón es el Rn 222 cuya vida media es de 3.826 días, el que universalmente es referido como radón o gas radón; pertenece a la serie radiactiva del uranio y es pariente inmediato del Ra 226, formado por el decaimiento del Ra 226 con vida media de 1620 años, el radón así formado por el decaimiento del radio en las suelo y en las rocas entra a las casas, edificios y lugares como minas túneles, sótanos y este se acumula especialmente en lugares cerrados [2].

El radón es la fuente más importante de la radiación ionizante de origen natural y el mayor contribuyente de la dosis de radiación recibida por los seres vivos. Esto es principalmente debido a la exposición al radón y a sus productos de desintegración presentes en el aire de los lugares antes mencionados; el radón es la segunda causa de cáncer al pulmón en la población en general después del tabaco, estudios epidemiológicos han probado la relación entre la exposición de radón en interiores y el cáncer al pulmón. La organización mundial de la salud OMS mostró los efectos a la salud debido a la exposición en residencias en 1979, a través de un grupo de trabajo europeo en el estudio de la calidad de aire en interiores, más tarde, el radón fue clasificado como un carcinógeno humano en 1988 por IARC, agencia especializada en investigación del cáncer de la OMS [3], también diversos estudios llevados a cabo por ICRP muestran el riesgo de cáncer asociado a la exposición de radón y a sus productos de desintegración.

---

<sup>1, a</sup> E-mail del Autor. jrojash@pucp.pe

Encontrando una relación directa de un incremento de cáncer al pulmón [4], en 2005 dos estudios mostraron la evidencia definitiva entre la exposición al radón residencial y el cáncer de pulmón [5,6].

De lo expuesto anteriormente, diversas organizaciones tanto en Europa como en USA han dado recomendaciones y límites de la concentración del radón en interiores, en USA el límite máximo aconsejable es de 4 pCi/m<sup>3</sup>. En Inglaterra el límite es de 200 Bq/m<sup>3</sup> (5.4 pCi/l). La comunidad Europea recomienda que no se supere los 400 Bq/m<sup>3</sup> en las viviendas actuales y los 200 Bq/m<sup>3</sup> en las nuevas construcciones según las recomendaciones de la Comisión de Medio Ambiente de la CEE del 21 de febrero de 1990. Las medidas recomendadas por la Environmental Protection Agency (EPA) son, si se produce más de 200 pCi/l recomienda tomar medidas para reducir los niveles, en un plazo de varias semanas, de 20 a 200 pCi/l tomar las medidas para reducir los niveles por debajo de 4 pCi/l en un plazo de varios meses, de 4 a 20 Pci/l tomar medidas para reducir los niveles hasta por debajo de 4 pCi/l en un plazo de varios años y en el caso de 4 pCi/l aunque la exposición a este nivel representa menor riesgo, los descensos de estos bajos niveles son a veces difíciles de conseguir [7].

Entonces medir la concentración de radón y sus productos de desintegración toma importancia dado que estos afectan a la salud. Para ello se emplea diversos métodos de medición, entre ellos los detectores de huellas nucleares de estado sólido, un detector de este tipo está basado en el hecho de que una partícula cargada pesada causa una gran ionización cuando pasa a través de un medio. Una partícula alfa ioniza las moléculas que están cerca de su trayectoria. El proceso de ionización primaria crea nuevas especies químicas cerca de la trayectoria de la partícula llamadas radicales libres esta zona es llamada huella latente [8]. El material que contiene las huellas latentes es expuesto a una solución química, que se hace más intensa en la zona de las huellas latentes, las soluciones que comúnmente se usan son NaOH o KOH. Entonces el efecto causado por este ataque químico es que graba las huellas en la superficie del detector con la diferencia que la velocidad de grabado en las zona dañada será mayor, de esta forma las huellas de las partículas son grabadas o formadas el cual puede verse bajo un microscopio o utilizar el método de conteo de chispa u otros métodos diseñados como tratamiento de imágenes etc. El efecto de las huellas dejadas por las partículas existe en muchos materiales como por ejemplo el nitrato de celulosa o diferentes policarbonatos estos materiales son también usados para detectar radón. Este efecto de formación de huella solo es visto en materiales dieléctricos, en semiconductores por el procesos de recombinación las huellas latentes no son estables y desaparecen [9]. Los detectores comerciales más comunes usados para este fin son el CR39 y el LR115 estos detectores presentan ciertas diferencias, el primero y más importante está en el grosor de la capa activa el cual es de 12 µm para el LR115 tipo II y para el CR39 es de 0.5 mm además las huellas formadas en ellas son diferentes, en el caso del LR115 son agujeros. La química del LR115 está hecha a base nitro celulosa mientras el CR39 a base de policarbonatos debido a estas características hay diferencias en su parámetros, que son comparados en [10].

La concentración en un lugar en específico basándonos en los detectores de estado sólido es derivada de la densidad de huellas observadas en el SSNTD, usando un adecuado factor de calibración, donde este depende de varios parámetros entre los cuales las más importantes son la forma del recipiente donde fue calibrado el detector la energía de las partículas alfa por ende el tipo de fuente, los parámetros del proceso de grabado y conteo etc. Estos son determinados en laboratorio a condiciones ambientales controladas. Entonces la relación es el siguiente:

$$T=kCt \quad (1)$$

Donde T es la densidad de huellas en ( $\text{tr cm}^{-2}$ ), k el factor de calibración en ( $\text{tr cm}^{-2}$  por  $\text{Bq dm}^{-3}$ ), C la concentración en ( $\text{Bq m}^{-3}$ ) y t es el tiempo de exposición en (días).

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Este trabajo se ha enfocado en determinar los niveles de concentración de Rn en los sótanos de un nuevo pabellón de la PUCP, inaugurado a mediados del 2014.



(a)



(b)

**Figura 1. (a) Nuevo pabellón de ingeniería de la PUCP, (b) vista panorámica de los sótanos.**

Para tal fin se utilizó el detector LR115 con las características antes mencionadas. Como la construcción del nuevo pabellón recién había concluido, en el grupo de investigación de Huellas Nucleares de la PUCP se tomó la decisión de hacer un seguimiento de la concentración de Rn 222 en este nuevo pabellón, particularmente en el sótano donde se encuentra que hay personal de trabajo que permanecen 8 horas diarias con sus respectivas rotaciones laborales. Para las mediciones se ubicaron lugares críticos como las esquinas por ser lugares alejados de los extractores de aire presentes y también se colocaron en lugares cercanos a los extractores de aire.

## 2.1. Materiales

Los materiales que se usaron fueron, LR115 tipo II kodalpha, baño termostático, NaOH a 2.5 N, microscopio óptico con interface a una computadora.



**Figura 2. Equipos usados para realizar el conteo de huellas nucleares asociadas concentraciones al Radón 222.**

## 2.2. Arreglo experimental

Los detectores LR115 fueron puestos a en los tres sótanos del pabellón PUCP en cada una de las cuales fueron puestas 10 detectores, cuatro parejas en cada esquina y una pareja en las escaleras, ellos fueron puestos a una altura aproximada de 1.5 m del piso haciendo un total de 30 por los tres niveles. El tiempo de exposición de los detectores fue cada vez de 30 días, esto se repitió 5 veces (periodos del 1 al 5), luego de ello los detectores fueron revelados con las condiciones antes mencionadas y con un tiempo de grabado de 90 minutos. Posteriormente se hizo su respectivo conteo usando el microscopio, al momento del conteo fueron tomados cinco campos del detector dado que la distribución de las huellas es aleatoria, con un aumento de 10X, con un radio de campo aproximado 3mm. Para cuantificar la concentración de Rn se utilizó la ecuación 1 con factores de calibración de  $20.41 \text{ Bq m}^{-3}$  que corresponden a 100 huellas  $\text{cm}^2$  [11], tanto el grabado como el conteo fueron llevados a condiciones bien contraladas en el laboratorio de física experimental de la PUCP.

**Tabla 1. Posiciones de los detectores de Radón 222 en el sótano de la PUCP, donde P1 es el primer sótano, P2 es el segundo sótano y P3 es el tercer sótano.**

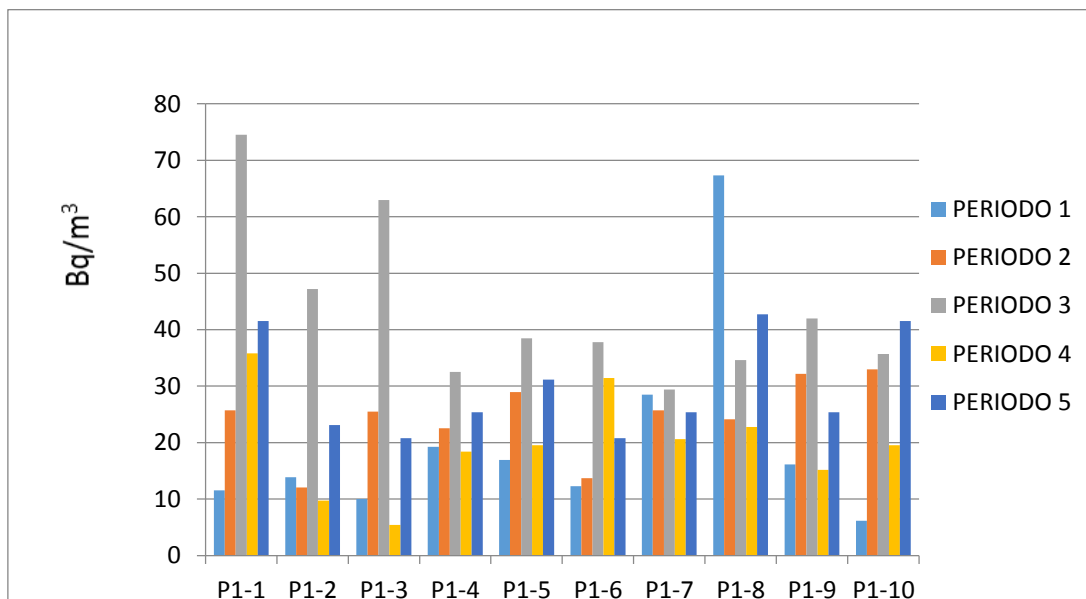
| <b>DETECTORES<br/>(2 detectores por<br/>posición)</b> | <b>POSICIÓN<br/>(definido por el número de parqueo en<br/>cada sótano)</b>         |
|---|--|
| P1-1,2  | Cerca al parqueo 03  |
| P1-3,4  | Cerca al parqueo 53  |
| P1-5,6  | Entre el símbolo de salida y una caja eléctrica                                    |
| P1-7,8  | Muro cercano a la entrada vehicular del estacionamiento                            |
| P1-9,10   | Escalera de emergencia (cerca de los ascensores) entre el sótano 1 y la superficie |
| P2-1,2  | Cerca al parqueo 158   |
| P2-3,4  | Cerca al parqueo 132   |
| P2-5,6  | Cerca al parqueo 98  |
| P2-7,8  | Caja del extinguidor cerca a los ascensores  |
| P2-9,10   | Escalera de emergencia (cerca de los ascensores) entre el sótano 2 y 1             |
| P3-1,2  | Cerca al parqueo 216   |
| P3-3,4  | Cerca al parqueo 182   |
| P3-5,6  | Cerca al parqueo 162   |
| P3-7,8  | Cerca al parqueo 242   |
| P3-9,10   | Escalera de emergencia (cerca de los ascensores) entre el sótano 3 y 2             |

### **3. RESULTADOS**

En este reporte se presenta los resultados del monitoreo de Rn 222 en los sótanos del nuevo pabellón de ingeniería de la PUCP, realizado durante el 2014. El valor de este estudio radica en el hecho de verificar si se está cumpliendo con los estándares de concentración de radón en interiores. Por primera vez se determina los niveles de radón natural en estos lugares de trabajo en la PUCP, ayudando de esta forma a las autoridades pertinentes a establecer un adecuado ambiente de trabajo saludable.

**Tabla 2. Resultados del monitoreo Radón 222 en el primer sótano de la PUCP.**

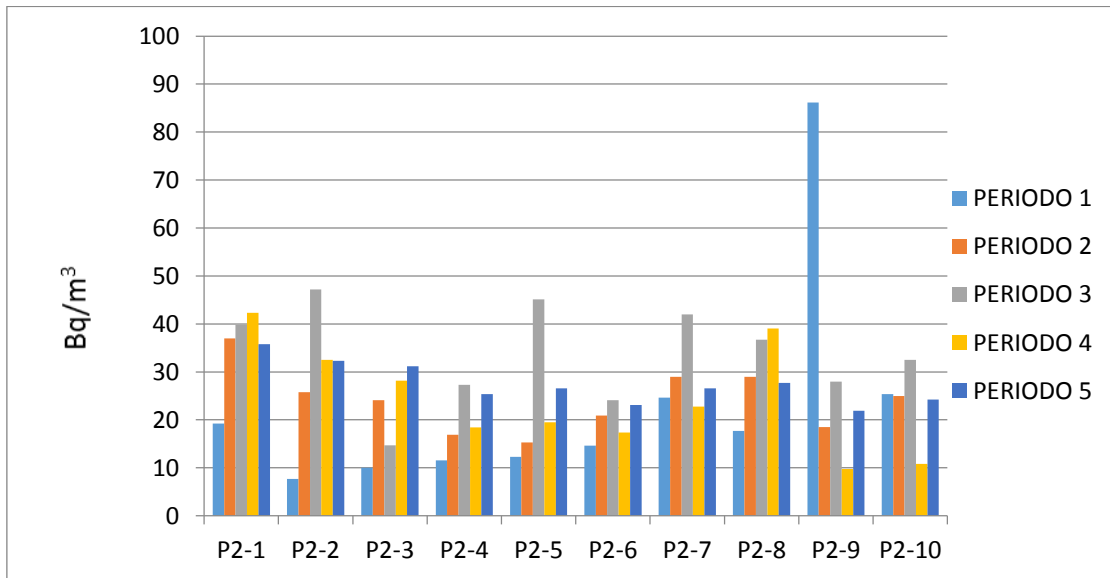
| Posiciones de cada detector | Valor promedio Bqm <sup>-3</sup> | Valor mínimo Bqm <sup>-3</sup> | Valor máximo Bqm <sup>-3</sup> |
|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| P1-1                        | 37.82±23.45                      | 11.54                          | 74.50                          |
| P1-2                        | 21.19±15.40                      | 9.75                           | 47.22                          |
| P1-3                        | 24.92±22.73                      | 5.42                           | 62.96                          |
| P1-4                        | 23.62±5.69                       | 18.43                          | 32.53                          |
| P1-5                        | 27.01±8.81                       | 16.92                          | 38.47                          |
| P1-6                        | 23.19±11.13                      | 12.31                          | 37.77                          |
| P1-7                        | 25.91±3.43                       | 20.60                          | 29.38                          |
| P1-8                        | 38.31±18.14                      | 22.77                          | 67.33                          |
| P1-9                        | 26.17±11.26                      | 15.18                          | 41.97                          |
| P1-10                       | 27.17±14.25                      | 6.15                           | 41.55                          |



**Figura 3. Histograma de los resultados del monitoreo Radón 222 en el primer sótano de la PUCP, indicando la concentración en Bqm<sup>-3</sup> por cada periodo.**

**Tabla 3. Resultados del monitoreo Radón 222 en el segundo sótano de la PUCP**

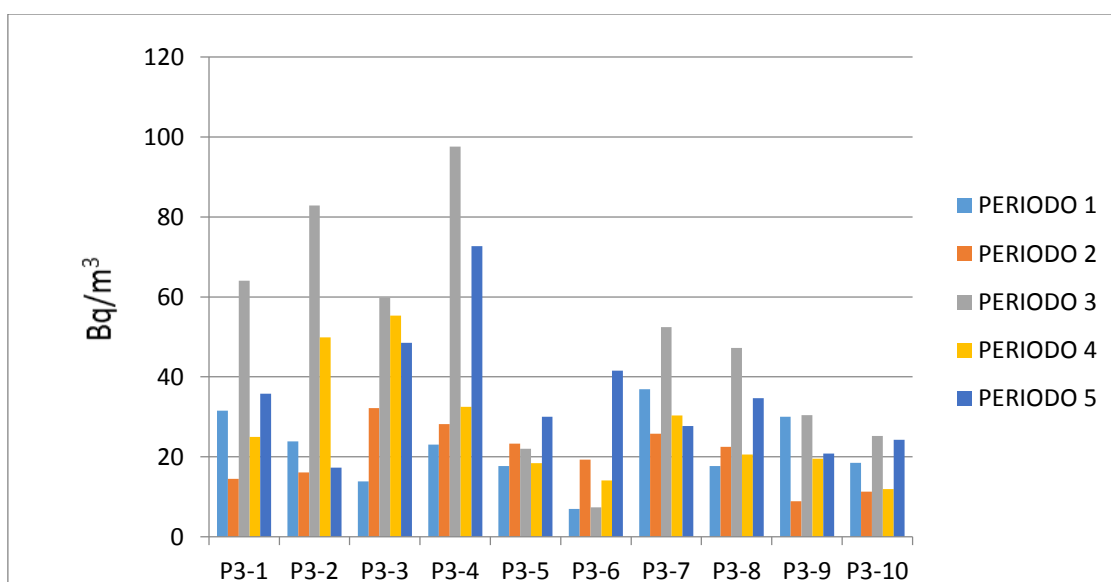
| posiciones | Valor promedio Bqm <sup>-3</sup> | Valor mínimo Bqm <sup>-3</sup> | Valor máximo Bqm <sup>-3</sup> |
|------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| P2-1       | 34.83±9.08                       | 19.23                          | 42.28                          |
| P2-2       | 29.10±14.32                      | 7.69                           | 47.22                          |
| P2-3       | 21.63±8.99                       | 10.00                          | 31.16                          |
| P2-4       | 19.91±6.44                       | 11.54                          | 27.28                          |
| P2-5       | 23.75±13.09                      | 12.31                          | 45.12                          |
| P2-6       | 20.02±3.98                       | 14.62                          | 24.13                          |
| P2-7       | 28.97±7.62                       | 22.77                          | 41.97                          |
| P2-8       | 30.03±8.43                       | 17.69                          | 39.04                          |
| P2-9       | 32.87±30.52                      | 9.75                           | 86.18                          |
| P2-10      | 23.58±7.87                       | 10.84                          | 32.53                          |



**Figura 3. Histograma de los resultados del monitoreo Radón 222 en el segundo sótano de la PUCP, indicando la concentración en Bqm<sup>-3</sup> por cada periodo.**

**Tabla 4. Resultados del monitoreo Radón 222 en el tercer sótano de la PUCP**

| posiciones | Valor promedio<br>Bqm <sup>-3</sup> | Valor<br>mínimo<br>Bqm <sup>-3</sup> | Valor<br>máximo<br>Bqm <sup>-3</sup> |
|------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| P3-1       | 34.15±18.52                         | 14.48                                | 64.01                                |
| P3-2       | 38.01±28.57                         | 16.09                                | 82.89                                |
| P3-3       | 41.92±18.87                         | 13.85                                | 59.81                                |
| P3-4       | 50.81±32.72                         | 23.09                                | 97.59                                |
| P3-5       | 22.30±4.917                         | 17.69                                | 30.01                                |
| P3-6       | 17.84±14.21                         | 6.92                                 | 41.55                                |
| P3-7       | 34.64±10.82                         | 25.74                                | 52.46                                |
| P3-8       | 28.53±12.27                         | 17.69                                | 47.22                                |
| P3-9       | 21.91±8.88                          | 8.84                                 | 30.43                                |
| P3-10      | 18.21±6.57                          | 11.26                                | 25.18                                |



**Figura 4. Histograma de los resultados del monitoreo Radón 222 en el tercer sótano de la PUCP, indicando la concentración en Bqm<sup>-3</sup> por cada periodo.**



#### 4. CONCLUSIONES

Este trabajo ha permitido realizar mediciones en un edificio recién construido con materiales diversos dentro de los cuales predomina el cemento y con la particularidad de mantener paredes sin pintar y amplios sótanos con relativa poca ventilación. Los resultados de las mediciones en los sótanos nos demuestra que si hay presencia del Radón 222 en esos ambientes. Sin embargo, los niveles encontrados en los diferentes periodos de medición están por debajo de los niveles máximos permitidos de 200 Bq/m<sup>3</sup> en nuevas construcciones según las recomendaciones de la Comisión de Medio Ambiente de la CEE del 21 de febrero de 1990 [7]. El máximo nivel de concentración encontrado es de 97.59 Bq/m<sup>3</sup> que corresponde al tercer sótano del edificio en estudio. Esto nos indica que por el momento no es necesaria ninguna medida correctiva. En un posterior trabajo se planea hacer verificaciones de la posible presencia de Radón 222 en otros ambientes del edificio y continuar con el monitoreo en los sótanos donde permanece personal durante las 24 horas en periodos rotativos.

#### 5. REFERENCIAS

1. F. Goded, V. Serradell., “Teoría de Reactores y Elementos de Ingeniería Nuclear”, **Tomo I**, tercera Edic, 1975.
2. World Health Organization., “SELECTED POLLUTANTS”, 2010., ISBN 978 92 890 02134.
3. World Health Organization., “ WHO HANDBOOK ON INDOOR RADON”, 2009., ISBN 978 92 4 154767 3.
4. ICRP, 1987. Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters. ICRP Publication 50.
5. S Darby, D Hill, A Auvinen, J M Barros-Dios, H Baysson, F Bochicchio, et al., “ARadon in Homes and Risk of Lung Cancer: Collaborative Analysis of Individual Data from 13 European Case-control Studies”, *British Medical Journal*, 2005 January 29, 330 (7485): 223.
6. D Krewski, JH Lubin, JM Zeilinski, M Alavanja, VS Catalan, RW Field, et al., “AResidential Radon and Risk of Lung Cancer: A Combined Analysis of 7 North American Case-control Studies”, *Epidemiology*, 2005 March; 16 (2):137-45.
7. “Radon Risk If You've Never Smoked”., <http://www.epa.gov/radon/healthrisks.html>., 1999-2001.
8. Espinosa, G., “Trazas Nucleares en Sólidos”., UNAM. México., 1994., ISBN: 968-36-4219-5.
9. R.L. Fleischer, P.B. Price, R.M. Walker, *Nuclear Tracks in Solids*, University of California Press, Berkley, 1975.
10. D. Nikezic 1, K.N. Yu., “Profiles and parameters of tracks in the LR115 detector irradiated with alpha particles”., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 196 (2002) 105–112.
11. Pereyra P., “Aplicación de la técnica de huellas nucleares en dosimetría de partículas alfa”., Tesis de bachiller de la Pontificia Universidad Católica del Perú., 1991.