

## MEDICIONES DE LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN 222 EN RESIDENCIAS DE LIMA – PERÚ

P.Pereyra<sup>1</sup>, M.E. López<sup>2</sup>, B. Perez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sección Física, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú  
[ppereyr@pucp.edu.pe](mailto:ppereyr@pucp.edu.pe)

<sup>2</sup> Sección Física, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú  
[mlopez@pucp.edu.pe](mailto:mlopez@pucp.edu.pe)

<sup>3</sup> Sección Física, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú  
[bertin.perez@pucp.edu.pe](mailto:bertin.perez@pucp.edu.pe)

### Resumen

Se realizó la medición de los niveles de Radón 222 en el primer semestre del 2013 en residencias correspondientes a 16 distritos de Lima Metropolitana, incluyendo a las zonas Norte, Centro y Sur de la ciudad, durante un periodo de 3 a 6 meses en forma continua, con periodos de medición de 1 a 2 meses. Las casas en donde se realizaron las mediciones fueron seleccionadas considerando diversas variables como antigüedad, materiales de construcción, revestimientos, tipo de suelo, uso ocupacional de las habitaciones monitoreadas, etc. Las mediciones se realizaron en sótanos, primer y segundo piso de las residencias. Para las mediciones de Radón 222 se utilizaron detectores pasivos de nitrato de celulosa (LR – 115). En el trabajo se muestra el procedimiento de toma de datos, lectura de los dosímetros y los resultados de la medición; este monitoreo es el primero que se realiza en esta ciudad. Los resultados son sólo indicadores de la tasa de radón presente por el tipo de detectores no es posible discriminar la presencia de los descendientes del Radón 222.

**Palabras clave:** monitoreo de Rn 222; detectores de huellas nucleares; nitrato de celulosa.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El gas Radón 222, radioisótopo natural que se presenta en forma imperceptible a nuestros sentidos constituye el principal contribuyente a la radiación natural que recibe el ser humano. El Radón 222 es un gas inerte que emite partículas alfa y tiene una vida media relativamente corta (3,8 días) y proviene del decaimiento del Ra 226. El radón es emanado en pequeñas cantidades desde el suelo y de los materiales de construcción. Se incorpora al aire desde donde puede ser inhalado en concentraciones que pueden resultar riesgosas en lugares poco ventilados o cerrados, donde es susceptible de ser inhalado por el ser humano, que lo puede incorporar mediante las vías respiratorias. En condiciones ideales no debe exceder los 200 Bq/m<sup>3</sup>. [ICRP Publication 50]

Trabajos de investigación establecen una estrecha relación entre la inhalación de concentraciones significativas de radón y el cáncer pulmonar. Este riesgo se incrementa en fumadores activos (hasta en un factor de 10) y en fumadores pasivos. [ICRP Publication 115]. En general, el radón se mueve hacia arriba, a través del suelo, hasta el aire que se respira. Los daños que puede producir en los seres vivos dependen de la cantidad de radón en la vivienda, el tiempo de exposición y la presencia de fumadores. El radón inhalado puede causar cáncer de pulmón debido a las partículas radiactivas que el radón emite al descomponerse y que pueden quedar atrapadas en las vías respiratorias y en los pulmones. A medida que continúan descomponiéndose, estas partículas alfa pueden dañar los tejidos biológicos y producir cáncer.

Aunque el radón del suelo es la fuente principal de este contaminante natural en las viviendas, a veces puede provenir del agua de pozo o de vertientes. Por otra parte, en ciertos tipos de viviendas, los materiales de construcción también pueden emitir radón, aumentando su presencia, aunque rara vez es la causa principal de una alta concentración. El radón puede penetrar en una vivienda a través de grietas en los cimientos, grietas en las

paredes, a través de las uniones de los muros o cavidades internas en las paredes, por el espacio que rodea a las tuberías, a través el agua, etc.

El interés principal de este estudio es la medición de la concentración de radón en diferentes tipos de viviendas de la ciudad de Lima, considerando su localización geográfica.

Los detectores de estado sólido de huellas nucleares que han sido empleados en este monitoreo de Radón <sup>222</sup> han sido utilizados en otras investigaciones similares; la metodología y fundamentos de la técnica son conocidos [Fleischer, 1965].

## **1.1. Fundamentación**

Lima, capital del Perú, es una ciudad con más de 8 millones de habitantes situada en la costa oeste de América del Sur, frente al Océano Pacífico en la Latitud Sur 12° y Longitud Oeste 77° 3'. El desarrollo urbano de la ciudad de Lima a lo largo de su historia ha sido mayormente sobre un terreno desértico, aunque también abarca zonas fértiles. Debido al crecimiento urbano desmedido y desordenado la ciudad se extiende en los llamados conos norte, sur y oeste que crecen sobre terrenos rocosos, arenosos y sobre pendientes de cerros circundantes. La provincia de Lima está dividida en 43 distritos, distribuidos para este estudio en 3 zonas: Norte, Centro y Sur.

Para realizar las mediciones se seleccionó algunas viviendas de profesores, alumnos y trabajadores de la PUCP quienes voluntariamente colaboraron en alojar los detectores en sus viviendas. Previamente se enviaron correos con una información concisa (alcances del proyecto, razón de las mediciones y como se llevaría a cabo). A los que respondieron afirmativamente y fueron seleccionados por su ubicación, se les entregó información adicional y directivas para la selección del lugar de las mediciones en su vivienda y el compromiso de colocar los detectores en forma apropiada. Los propios voluntarios fueron los que colocaron y retiraron los detectores.

Como se dijo anteriormente, el motivo principal de esta investigación es determinar los niveles de concentración de Rn 222 en viviendas para relacionarlos posteriormente en otros trabajos de investigación con posibles riesgos para la salud de los habitantes de nuestra ciudad capital. Estos resultados sirven para dar las orientaciones que fuesen necesarias para mitigar sus efectos y avanzar en una primera etapa para un plano de la concentración de Rn222 en Lima, Perú.

## **2.- MATERIALES Y MÉTODOS**

Para efectuar las mediciones de Rn 222 en las edificaciones seleccionadas se utilizaron detectores pasivos utilizando la técnica de Huellas Nucleares (SSNTDs). Los detectores son de nitrato de celulosa LR115 Tipo 1 de 6 µm de espesor, de alta sensibilidad, capaces de registrar el paso de partículas alfa de bajas energías. Estos detectores no se afectan por electrones u otro tipo de radiación electromagnética (radiación gamma, R-X, etc.), pueden ser almacenados en condiciones standard por periodos de tiempo superiores a un año. Se emplearon detectores pasivos desnudos, de forma cuadrada de 20 mm de lado, sujetos en un soporte cuadrado de 60 mm de lado tomados de una película de transparencia, debidamente codificados como se muestra en la Figura 1.

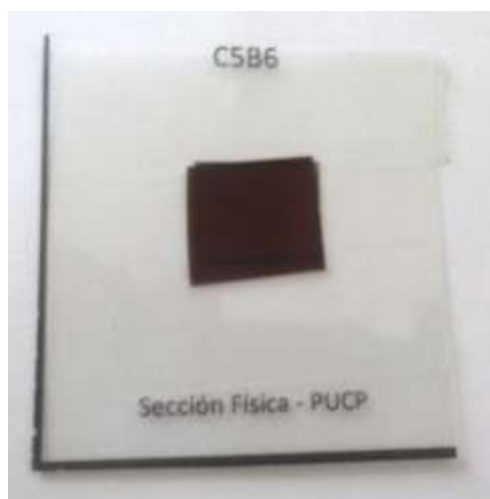


Figura 1.- Detectores de LR 115 utilizados en el monitoreo de Rn 222

## 2.1. Condiciones de Muestreo

Se tomaron en cuenta 3 zonas de muestreo en Lima: Norte, Centro y Sur. La distribución del número de distritos y número de viviendas monitoreadas se muestra en la Tabla 1

Tabla 1.- Distribución de los detectores en la Ciudad de Lima.

Zona	Número de distritos en la zona	Distritos	Total de viviendas por zona
Centro	7	Lima Cercado, San Borja, Miraflores, Magdalena, Pueblo Libre, San Miguel, Jesús María	15
Cono Sur	4	La Molina, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo, Chorrillos	4
Cono Norte	3	San Martín de Porres, Comas, San Juan de Lurigancho	6

Los detectores fueron codificados con C, S o N de acuerdo a la zona, a continuación el distrito seleccionado (del 1 al 7), la vivienda de ese distrito A, B o C y finalmente el número de detector (del 1 al 6). En total se procesaron 148 detectores.

El muestreo se dio en 3 periodos consecutivos de 30 días durante los meses de verano del 2013. En cada periodo se colocaron por vivienda 2 detectores, es decir se registraron 6 detectores en total por cada lugar de muestreo. Se dio las indicaciones que el detector fuera colocado en el lugar menos ventilado de la casa (dormitorio, baño, sótano, garaje....).

Los participantes llenaron una ficha donde se indicaban las características de la construcción y recubrimiento de las paredes de la habitación y del piso, así como si en esa habitación la familia pasaba mucho tiempo o si estaba desocupada. Otros datos consignados eran la antigüedad de la vivienda, los materiales de construcción y si las personas que la habitaban eran fumadores u otros datos relevantes.

## 2.2. Proceso de grabado y lectura

Para el proceso de grabado se utilizaron las condiciones standard de un baño termoestabilizado utilizando una solución de NaOH . En la Figura 2a se muestran el baño termoestabilizado donde se llevó a cabo el proceso de grabado químico (etching) y en la Figura 2b el microscopio óptica conectado a una sistema de cómputo para el conteaje de las huellas grabadas.

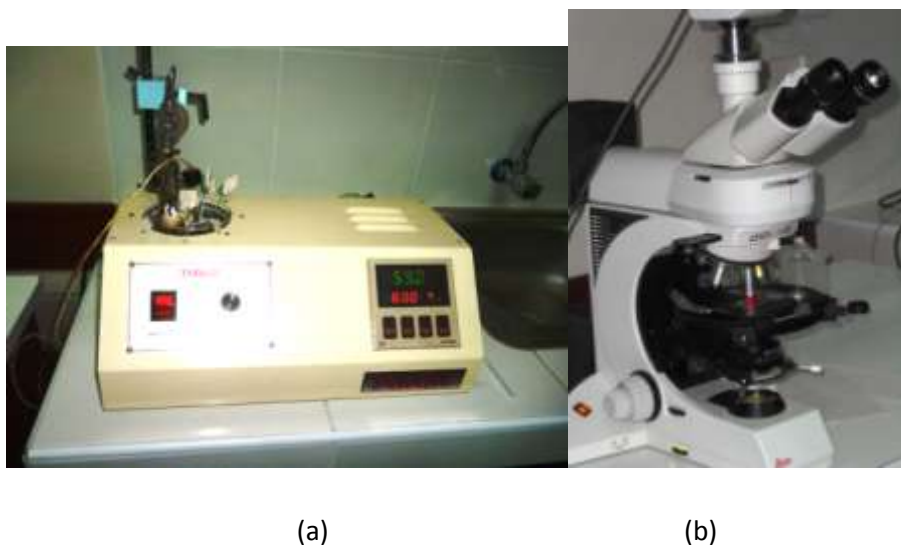


Figura 2.- (a) Proceso de grabado (b) Lectura de huellas

Para la lectura de los detectores se utilizó un microscopio óptico, teniendo la lectura de 4 campos por detector para luego determinar la lectura promedio. El procedimiento es el usual para estos detectores [Fleischer (1975); Urban & Piesch (1981)]. Luego de determinar la densidad de huellas por  $\text{mm}^2$  se utiliza el factor de calibración  $20,41 \text{ Bq/m}^3$  que corresponden a  $100 \text{ huellas/cm}^2$  [Pereyra 1991].

## 3.- RESULTADOS

Los resultados se muestran por zonas- La zona Centro en la Tabla 2; la zona Norte en la Tabla 3 y la zona Sur en la Tabla 4. Se resaltan las medidas por encima de los  $500 \text{ Bq/m}^3$  de concentración de Rn 222.

Tabla 2.- Resultados del Monitoreo de Rn 222 en la Zona Central de la Ciudad de Lima

Detector	Distrito	Actividad Rn 222 (Bq/m <sup>3</sup> )
C1A (a)	Lima cercado 1	<b>603.39</b> ± 32.13
C1B	Lima cercado	94.28 ± 6.85
C1C	Lima cercado 2/Ate	9.43 ± 2.31
C2B	San Borja 1	84.85 ± 3.09
C2C	San Borja	0 ± 0
C3A (b)	Miraflores 1	<b>942.81</b> ± 104.35
C3B	Miraflores	70.71 ± 9.08
C3C	Miraflores 2	121.62 ± 16.98
C4A	Magdalena 1	94.28 ± 9.24
C4C	Magdalena 2	235.70 ± 16.16
C5A	Pueblo Libre	466.69 ± 73.69
C6B	Jesús maría	56.57 ± 6.19
C8A	San miguel 2	480.83 ± 12.00
C8B	San Miguel	18.86 ± 2.92
C8C	San miguel 1	103.71 ± 10.38

Tabla 3.- Resultados del Monitoreo de Rn 222 en el Cono Norte de la Ciudad de Lima

Detector	Distrito	Actividad Rn 222 (Bq/m <sup>3</sup> )
N1A	San Martín de Porres	113.14 ± 16.39
N1C (c)	San Martín de Porres	<b>631.684</b> ± 76.01
N2A	Comas	122.56 ± 22.17
N2B	Comas	141.42 ± 10.58
N3A	San Juan de Lurigancho	169.71 ± 10.73
N3B	San Juan de Lurigancho	84.85 ± 5.66

Tabla 4.- Resultados del Monitoreo de Rn 222 en el Cono Sur de la Ciudad de Lima

Detector	Distrito	Actividad Rn 222 (Bq/m3)
S1C	La Molina (d)	<b>4313.36</b> ± 487.86
S2A	Chorrillos	75.43 ± 11.123
S4A	San Juan de Miraflores	386.55 ± 59.16
S5A	Villa María del Triunfo	18.86 ± 2.92

Se debe mencionar características adicionales de algunas viviendas donde se colocaron los diferentes detectores. Los detectores C1A (a) instalados en el Centro de Lima que monitorearon una casona de más de 100 años de antigüedad hecha de adobe, con muy poca ventilación y que los detectores se colocaron en un sótano utilizado para depósito. Los detectores C3A (b) colocados en Miraflores están en una construcción de casi 50 años al interior de un sótano que permanece cerrado mayormente. Los detectores N1C (c) ubicados en el límite de San Martín de Porres y el Callao en la cocina del primer piso que tiene muy poca ventilación. Los detectores S1C (d) ubicados en la Molina en un sótano con poca ventilación. Cabe destacar que en este caso 5 de los 6 detectores presentaron lecturas muy por encima del promedio. Esta vivienda en particular será monitoreada nuevamente. En la Figura 3 se muestran los valores promedio por ubicación en todas las zonas de monitoreo.

Los valores promedio de concentración de Radón 222 obtenido en cada zona son mostrados en la Tabla 5. Se ha retirado para la presentación de esta tabla el grupo de detectores S1C de La Molina por ser un caso atípico sobre el cual se ha estimado realizar nuevos estudios [Santos 2009].

Los resultados mostrados corresponden a los detectores recuperados. Un 30 % de los detectores enviados se perdieron o no fueron devueltos.



Zona	Concentración Rn 222 (Bq/m <sup>3</sup> )
Norte	210.56
Centro	160.28
Sur	225.58

los niveles en sótanos aumentan considerablemente, y son justamente 3 de los 4 casos con mayor concentración de Rn 222 medido. Se puede entender también que en el caso de los sótanos, las tuberías de agua incrementan los niveles de radón junto con la poca ventilación, factor clave en la difusión del radón. Las variables como materiales de construcción y recubrimientos en pisos y paredes requieren de un mayor análisis y número de datos. En general la metodología empleada es consistente y da resultados similares de concentración con otros métodos en localizaciones geográficas similares.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los miembros de la comunidad Universitaria de la Pontificia Universidad Católica del Perú: Profesores de la Sección Física e Ingeniería Industrial, al personal administrativo, a los alumnos de pregrado en Física y de EE.GG.CC. que colaboraron voluntariamente y alojaron los detectores por 3 meses en sus viviendas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Canoba A; López FO; Arnaud MI; Oliveira AA; Neman RS; Hadler JC; Iune PJ; Paulo SR; Osorio AM; Aparecido R; Rodríguez C; Moreno V; Vasquez R; Espinosa G; Golzarri JI; Martínez T; Navarrete M; Cabrera I; Segovia N; Peña P; Taméz E; Pereyra P; López-Herrera ME; Sajo-Bohus L ( 2002) *Indoor radon measurements in six Latin American countries* **Geofísica Internacional (2002), Vol. 41**, Num. 4, pp. 453-457
- Espinosa G. (1994). *Trazas Nucleres en Sólidos*. UNAM. México. ISBN: 968-36- 4219-5.
- Fleischer RL; Price PB; Walker RM. (1975) *Nuclear Tracks in Solids: Principles and Applications*. University of California Press, Berkeley.

- Fleischer RL; Price PB; Walker RM. (1965) *Solid State track detector: application to nuclear science and geophysics*. **Annu. Rev. Nucl. Sci.**, **15** (1965), pp. 1–28.
- Gupta M. (2011) *Monitoring of indoor radon and its progeny in dwellings of Delhi using SSNTDs* **Advances in Applied Science Research** **2** (5): 421-426
- Liendo J ; Sajó-Bohus L; Pálfavi J; Greaves ED; Gomez N. (1997) *Radon monitoring for health studies in the Caracas subway using SSNTDS*. **Radiation Measurements Volume 28**, Issues 1–6, 1997, Pages 729–732
- Pereyra P. (1991) *Aplicación de la técnica de huellas nucleares en dosimetría de partículas alfa*. Tesis de bachiller de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Pereyra P. (1998). *Detección de Rn222 en ambientes interiores utilizando la técnica de Huellas nucleares*. Tesis de Licenciatura de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Santos T; Rocha Z; Barreto AA; de Souza A; Miguel R; de Oliveira A ( 2009) *Indoor radon distribution in metropolitan region of Belo horizonte, Brasil* Proceedings 2009 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009 **ISBN: 978-85-99141-0**
- Urban,M; Piesch,E. (1981) *Low level environmental radon dosimetry with a passive track etch detector device* **Radiat. Protect. Dosimetry**, **1**, pp. 97–109
- ICRP, 1987. *Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters*. **ICRP Publication 50**.
- ICRP, 2010 *Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon*. **ICRP Publication 115**
- EPA [online] *A citizens guide to Radon* Homepage United State Environmental Protection Agency < <http://www.epa.gov> > [Reviewed on December 2013]