

Monitoreo de concentración de gas radón en interiores causadas por sismos: Caso de estudio, Instituto Tecnológico de Mexicali

Isidro N. Guerrero Cabrera¹, Mario Camarillo-Ramos¹, Verónica Quintero Rosas¹,
Arnoldo Díaz Ramírez¹, Fernando Emmanuel Michel Avila¹

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Mexicali,

¹Departamento de Sistemas y Computación, ²Departamento de Eléctrica - Electrónica, Mexicali B.C., México.

Resumen

En los últimos años la calidad del aire que respiramos cotidianamente ha sufrido una elevación en los elementos que lo componen tanto en partículas suspendidas de forma natural como en compuestos tóxicos.

Estos cambios en la composición del aire han traído como resultado un incremento significativo en la prevalencia de las enfermedades alérgicas y respiratorias, entre estas el cáncer de pulmón, pese a los avances en la comprensión del origen y la evolución de una enfermedad con todos los factores que están involucrados en ella, la divulgación de información para su control, tratamiento y la aparición de nuevos fármacos.

La ventilación podría reducir la concentración de contaminantes al diluirlos, pero al mismo tiempo puede contaminar espacios previamente libres de contaminantes, situación que ha sido especialmente estudiada en relación con el humo del tabaco solamente. Los sistemas de ventilación más comunes no disponen de filtros para partículas respirables, mucho menos para gases como el Radón. El radón es estudiado ampliamente debido a que existen estudios de una correlación de sismos y cantidades de radón expandidas en áreas sísmicas.

Abstract

In recent years, the quality of the air that we breathe on a daily basis has suffered an increase in the elements that compose it, both in naturally suspended particles and in toxic compounds.

These changes in the composition of the air have resulted in a significant increase in the prevalence of allergic and respiratory diseases, including lung cancer, despite advances in understanding the origin and evolution of a disease with all factors that are involved in it, the disclosure of information for its control and treatment and the appearance of new drugs.

Ventilation could reduce the concentration of pollutants by diluting them, but at the same time it can pollute previously pollutant-free spaces, a situation that has been especially studied in relation to tobacco smoke alone. The most common ventilation systems do not have filters for particles, much less for gases such as Radon. Radon is widely studied because there are studies of a correlation of earthquakes and expanded amounts of radon in seismic areas.

Palabras Clave: Gas Radón, monitoreo, sismos.

Keywords: Radon gas, monitoring, earthquakes

1. INTRODUCCIÓN

La medición de la exposición a numerosos factores ambientales es compleja, porque no disponemos de sistemas adecuados de información y vigilancia sanitaria que permitan valorar la magnitud y gravedad de los

riesgos. La información disponible sobre las enfermedades relacionadas con el medio ambiente procede de la experimentación en animales, estudios de laboratorio, estudios epidemiológicos y toxicológicos.

Sabemos, además, que algunas sustancias ambientales por debajo de ciertos niveles no son peligrosas. Sin embargo, otros agentes, tales como alérgenos, radiaciones ionizantes, contaminantes del aire, preparados químicos carcinógenos, pueden suponer un riesgo a niveles más bajos de los observados [1].

A pesar de ello existen algunos trabajos que han identificado la relación entre determinados agentes ambientales y la salud humana.

La prevalencia de las enfermedades respiratorias crónicas como rinoconjuntivitis, asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) experimenta un crecimiento significativo en los últimos 50 años, posiblemente debido a las modificaciones ambientales a las que hemos estado expuestos en las últimas décadas. La presencia creciente de alérgenos y productos químicos capaces de estimular la sensibilización y los síntomas de estas enfermedades, podrían estar implicados en este aumento. Esta suma de factores de exposición recibe el nombre de “exposoma”. [2]

El “exposoma” abarca la totalidad de la exposición humana a factores ambientales, y consta de tres dominios:

1. Un entorno externo general que incluye factores derivados del ambiente urbano, los factores climáticos, el capital social, el estrés, etc.
2. Un entorno externo que incluye contaminantes específicos como alérgenos y humo de tabaco, dieta, actividad física, infecciones, infestaciones, etc.
3. Un medio interno que incluye factores biológicos del individuo, tales como el metabolismo, la micro flora intestinal (microbioma), la inflamación y el estrés oxidativo, entre otros. [2]

2. ANTECEDENTES

El presente proyecto tiene la finalidad de realizar la Medición de la concentración de gas Radón en interiores, en un área sísmica como lo es Baja California.

Las primeras mediciones ambientales del radón fueron dirigidas a exteriores para el estudio de diversos fenómenos como los fenómenos eléctricos en la atmósfera, el transporte atmosférico y la exhalación de gases desde el suelo. Pero las primeras mediciones en interiores fueron hechas hasta los años 50's del siglo XX (1950), pero no se les dio la importancia debida en aquellos tiempos. Fue hasta los años 60's y 70's que surgió el interés por conocer el comportamiento y concentraciones de radón en hogares y lugares de trabajo. De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA por sus siglas en inglés), se tiene de 3,000 a 38,600 defunciones al año debido al radón. [3]

El Proyecto de Aplicaciones de la Dosimetría (PAD) del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México (IFUNAM), ha puesto énfasis en el estudio del radón intramuros, como tema de investigación desde hace más de 25 años, se han publicado más de 50 artículos en revistas internacionales sobre este tema, sus riesgos, aplicaciones y forma de medición y mitigación. Se desarrollaron varios dispositivos para la medición de

radón y torón, se estructuró la metodología y se realizaron los protocolos para la evaluación de los niveles de concentración de radón intramuros, así como los procedimientos de calibración y verificación de contenidos de radón. [3]

2.1 REGULACIÓN

Una vez que quedó clara la relación entre la frecuencia del cáncer de pulmón con la presencia de radón, hubo nuevas propuestas para limitar el riesgo de exposición al radón. En 1976, el ICRP recomendó las siguientes reglas y niveles:

- Acceso controlado a menos que la concentración fuera menor a 1100 Bq/m³.
- El uso de respiradores para concentraciones de 11,000 Bq/m³, en áreas de entre 11,000 y 111,000 Bq/m³, se combinan el uso de respiradores con la reducción con el tiempo de estancia.
- Para concentraciones mayores se marcarían con un anuncio de peligro. [3]

En 1985, el ICRP recomendó para un trabajador minero un Límite Anual de Incorporación (ALI) de radón de 3.6 x 10⁶ (Bq h m⁻³), que corresponde a 1,800 Bq/m³ para 2000 horas trabajadas por año.

La publicación de ICRP 65 de 1993, fue dedicada totalmente a radón y presentó una serie de recomendaciones para adoptar niveles de acción en interiores-exteriores y lugares de trabajo.

En base a recomendaciones de organismos internacionales y/o a sus propios institutos de investigación cada país establece niveles de referencia recomendable u obligatoria que además en algunos casos son de jurisdicción estatal.

3. SISMOS

Por su ubicación geográfica México se encuentra sujeto al efecto de diversos fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, derrumbes, inundaciones, sismos y sequías que pueden derivar en situaciones de desastre. [4] En el caso de los sismos, en el transcurso de la historia han sido de mucha importancia tanto por su frecuencia como por los daños que han ocasionado. Como se puede observar en la Figura 1. Se cuenta con distintos sistemas nacionales que mide la intensidad con la que se presentan los sismos en México.

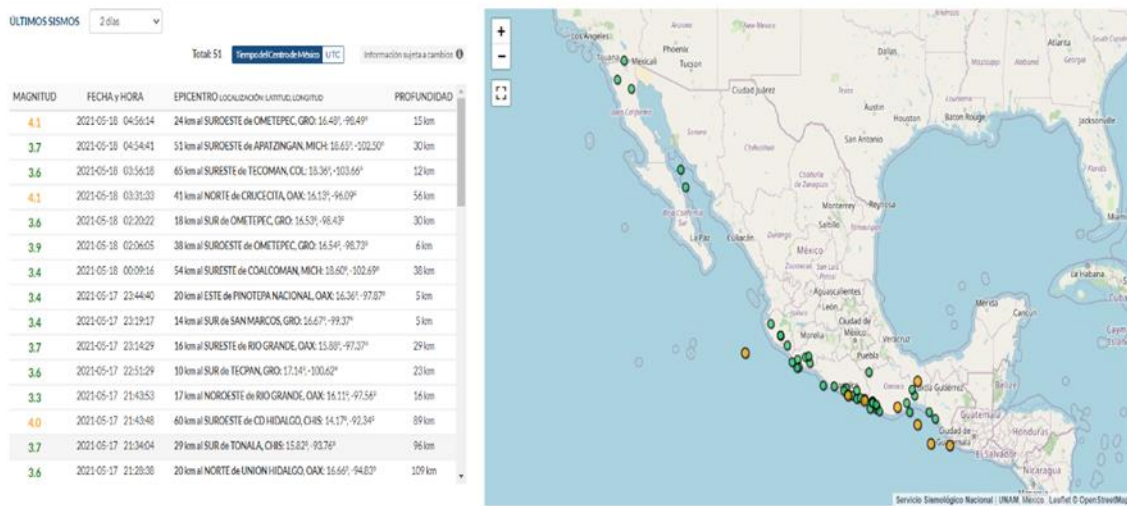


Figura 1. Monitoreo de Sistemas Sísmicos

Un sismo es un rompimiento de las rocas en el interior de la Tierra. Esta liberación repentina de energía se propaga en forma de ondas que provocan el movimiento del terreno. [5]

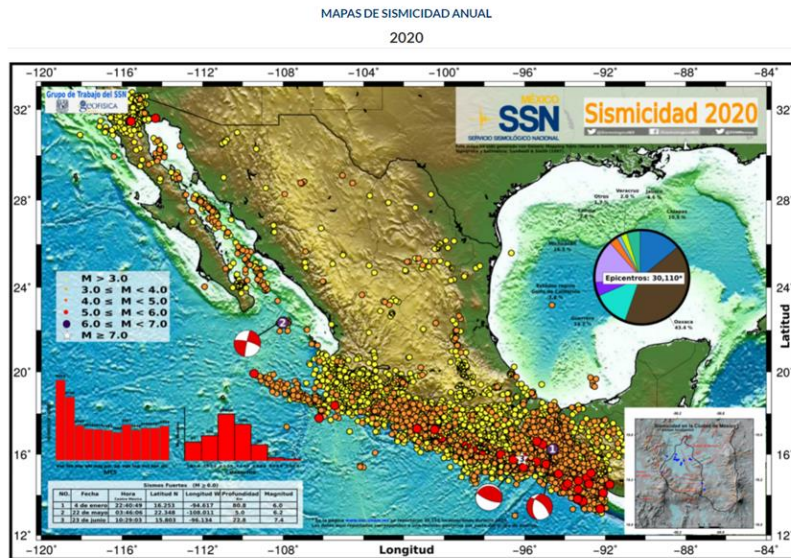


Figura 1. Mapa de Sismicidad Anual 2020, Fuente: Servicio Sismológico Nacional

3.1 Sismos en Baja California

La península de Baja California forma parte de la placa Pacífico, la cual se desplaza hacia el NW con respecto a la placa norteamericana.

El Valle de Mexicali se localiza dentro de una zona tectónicamente muy activa, en la parte sur de la cuenca Saltón, en el límite entre las placas Pacífico y Norteamérica. Existen dos fallas principales en el área del estudio, Imperial y Cerro Prieto, de la orientación NO-SE, del movimiento lateral derecho, que afectan el basamento y

delimitan la cuenca tectónica Cerro Prieto. La formación de esta cuenca se debe al régimen tectónico extensional impuesto por el movimiento de estas fallas. [7]

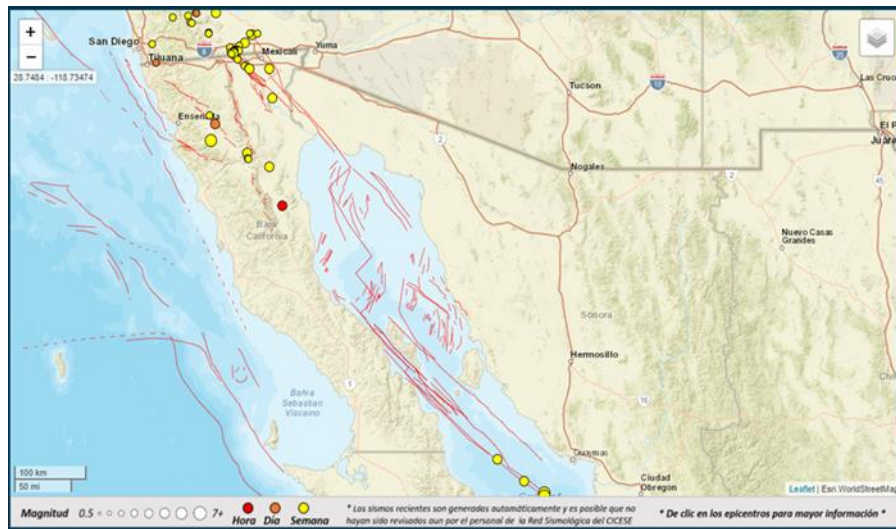


Figura 3. Fallas Geológicas del Noroeste de México, Fuente: Sistema Sismológico Nacional

En la figura 3 podemos observar las diferentes fallas geológicas ubicadas en el noroeste del país, entre estas encontramos la cuenca tectónica Cerro Prieto que tiene una profundidad máxima de más de 6000 metros, esta rellena de sedimentos aluviales y deltaicos, que abarcan edades desde el Terciario hasta el Reciente, [7] que ha experimentado la deformación continua, al alto flujo de calor, la actividad sísmica, volcánica e hidrotermal.

3.2 Relación de sismos y gases

Las investigaciones que relacionan las fallas geológicas con flujos de gases en el suelo, la ocurrencia de terremotos y sus predicciones se remontan al estudio del terremoto de Tashkent en Asia Central, donde se reportó que el aire proveniente de pozos ubicados sobre fallas geológicas contenía 15 veces más mercurio que el aire alejado de las zonas de falla. En 1975, el Scripps Institute of Oceanography inició estudios para el monitoreo de gases (radón disuelto, helio, nitrógeno, metano) como posibles precursores de terremotos. Las variaciones más significativas identificadas fueron los incrementos en radón, helio, nitrógeno y metano en 1979, justo antes del terremoto de Big Bear en California con magnitud 4.8. Además, reportaron la instalación de instrumentos de medición de dióxido de carbono en la estación de Lake Hughs, California, cerca de la falla de San Andrés, cuyos datos mostraron la presencia de anomalías correlacionadas con la producción de radón y el dióxido de carbono. [9]

4. EL RADÓN COMO RIESGO EN LA SALUD Y MORTALIDAD

El radón, como gas noble, se presenta en la naturaleza en tres isótopos, el ^{220}Rn , ^{219}Rn , ^{222}Rn , siendo este último el de mayor significación radiológica y al que nos referiremos, de ahora en adelante, como radón. Este gas inerte de origen natural, derivado de la desintegración del radio (^{226}Ra) presente en los suelos terrestres, es capaz de viajar entre los poros del terreno hasta alcanzar la superficie, donde podrá diluirse entre los gases

de la atmósfera, o penetrar en el interior de los edificios si éstos no se encuentran debidamente protegidos. [8]

Al penetrar en un espacio cerrado, el radón se acumula aumentando su concentración. La inhalación de este gas puede llegar a generar cáncer pulmonar debido a que la radiación que se produce de la desintegración del mismo y de sus descendientes de vida corta (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi y ^{214}Po) en el interior de nuestro organismo, es capaz alterar el ADN de los tejidos pulmonares. La Organización Mundial de la Salud califica al radón como agente cancerígeno de grado 1. Según este Organismo, el radón es la segunda causa de contracción de cáncer pulmonar detrás del tabaco. [8]

Desde el punto de vista de la contaminación radiactiva, en los últimos años ha aumentado la preocupación por el peligro que la acumulación de gas radón en el interior de edificios puede representar para las personas que lo ocupan. Según estudios realizados en Estados Unidos el gas radón representa el segundo factor de riesgo de cáncer de pulmón después de fumar. [10]



Figura 4. Forma Común de Entrada de Radón en viviendas

5. SENSORES

Varios métodos están disponibles para la medición de radón. Estos métodos se clasifican en dos categorías generales:

- A.- Métodos Activos (dinámicos)
- B.- Métodos Pasivos

Métodos activos

Estos métodos son aquellos que requieren de alimentación para su operación y son usados normalmente para mediciones cortas. Estos métodos funcionan tomando la muestra de aire en un instante y midiendo la concentración de radón a través de la radiación α .

Métodos pasivos

Para obtener resultados que tomen en cuenta los efectos estacionales, climatológicos y condiciones ambientales en viviendas, es importante llevar a cabo mediciones en un período largo de tiempo. El promedio en la concentración de radón en el aire en viviendas sobre este período de tiempo largo es el que determina el daño en la salud del ser humano. El uso de dispositivos integradores es la manera más práctica de obtener el promedio de la concentración de radón en un tiempo largo. De aquí que estas técnicas son preferidas para vigilancia laboral para obtener la concentración de radón en aire promedio en una construcción específica.

6. DESARROLLO

Sensor utilizado wave de Airthings

Wave, de la marca Airthings es un detector de gases radón inteligente que le proporcionará resultados precisos y rápidos.



Figura 5. Sensor wave para medir gas radón

Características generales del sensor

Muestreo de radón: cámara de difusión pasiva

Método de detección: espectrometría alfa

Entorno operativo: 4 °C a 40 °C

Rango de medida: 0 - 20.000 Bq / m³

Peso: 219 g (con pilas)



Figura 6. Indicadores de Colores Según Niveles de Concentración de Gas Radón

Funciones del sensor wave

Calidad del aire: radón, temperatura, humedad.

Sensor de movimiento: onda

Alertas visuales: verde, amarillo, rojo

Aplicación móvil gratuita: iOS y Android Duración prolongada de la batería: ~ 1,5 años

Notificaciones: en la aplicación y en el correo electrónico

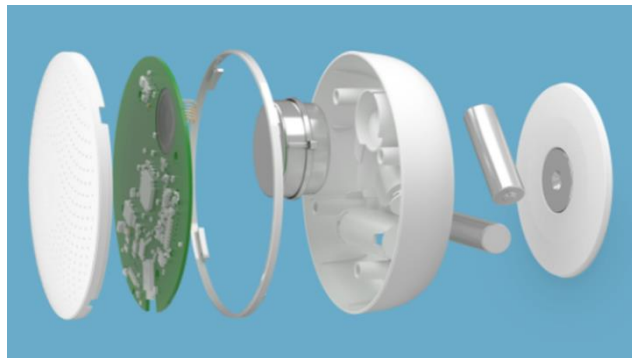


Figura 7. Componentes Internos del Sensor WAVE

Aplicación móvil para el manejo del sensor wave

El sensor wave cuenta con una aplicación para Android como podemos ver en la figura 8 la cual es genérica para todos los dispositivos de la marca Airthings.



Figura 8. Software de aplicación para sensor de radón.

Acceso a los registros

La empresa fabricante del sensor cuenta con una página web y un panel de control que nos ayuda a administrar los registros que el sensor a enviado a la base de datos y la forma de acceder a estos es la siguiente.

El sensor se comunica con nuestro dispositivo móvil través de Bluetooth, una vez detectado el sensor, procedemos a configurar los parámetros. Asignamos el nombre a nuestro sensor y la ubicación mediante GPS del dispositivo, una vez este “emparejado” nuestro sensor y nuestro dispositivo móvil debemos conectar a una red vía wifi o por datos esto para que el sensor comienza a enviar los datos recopilados a la base de datos en la web.

Para acceder a los datos

En el navegador tecleamos la siguiente dirección
<https://www.airthings.com/es/>

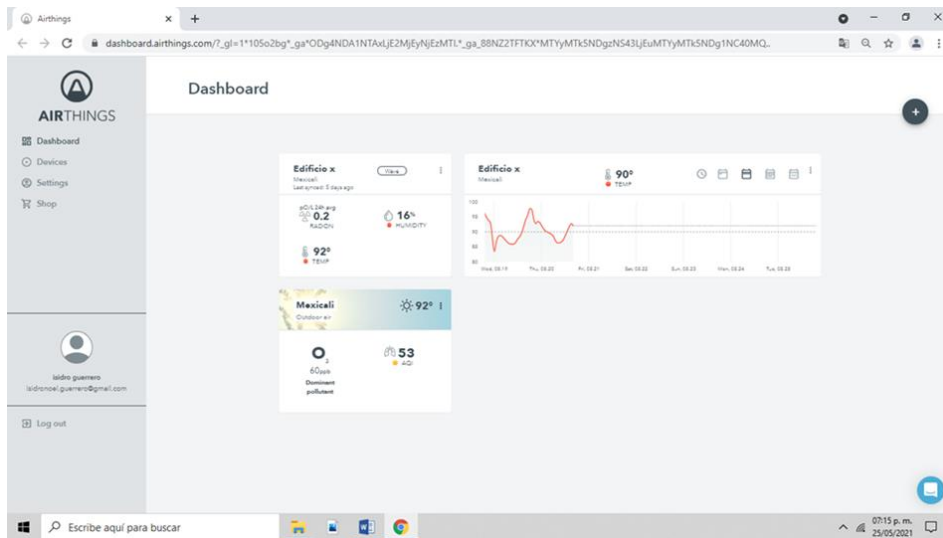


Figura 9. Panel de Control de los Registros de Radón que Capturo el Sensor WAVE

Caso de estudio: Instituto Tecnológico de Mexicali

Se configuro el sensor con la aplicación para dispositivos móviles en nuestro caso para poder conectar el sensor vía bluetooth y un celular que tuviera ya sea conexión a internet por medio de wifi o vía datos, y así poder enviar dichos registros a la base de datos del fabricante y después poder acceder a estos registros para el análisis. Cabe mencionar que se obtuvieron registros de un año desde el 26 abril del 2020 al 25 de abril de 2021 donde se puede observar en las gráficas las variaciones de las mediciones de gas radón.

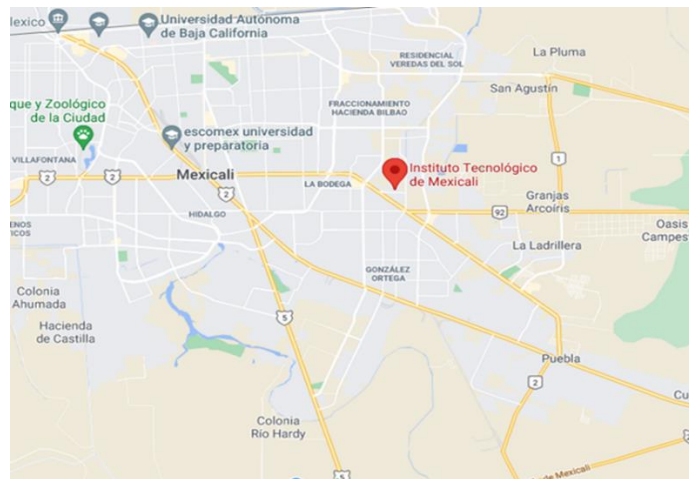


Figura 10. Ubicación en la Mancha Urbana del Campo de Estudio, Instituto Tecnológico de Mexicali.



Figura 11. Ubicación del Edificio X en las Instalaciones del Instituto Tecnológico de Mexicali

La relación que existe entre el aumento de la emisión de radón con los movimientos sísmicos, en la zona donde se ubica el campo de estudio podemos encontrar que se realizaron ya algunos estudios por catedráticos de la Universidad Autónoma de Baja California, UABC denominado “EXPLORACIÓN GEOFÍSICA EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MEXICALI PARA LA BÚSQUEDA DE FALLAS GEOLÓGICAS” donde: Reyes López Jaime Alonso, Oropeza Durán Agustín, Lázaro-Mancilla Octavio y Xancal Acametitla Grisel concluyeron lo siguiente:

La existencia de fallas geológicas y la necesidad de ubicar zonas de riesgo en la zona urbana de Mexicali, quedo de manifiesto por el sismo ocurrido el 4 de abril de 2010, de magnitud 7.2.

Este sismo fue de una magnitud $M_w = 7.2$. Uno de los lugares más afectados por este sismo fue el Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM), en donde algunos edificios sufrieron graves daños y se han localizado zonas asociadas a fallas, conforme a un estudio previo de gas 222Radón y de sísmica de reflexión, el cual ha permitido establecer ciertos rasgos asociados a fallas y fracturas en el ITM.

Con estos antecedentes nos dimos a la tarea de registrar los incrementos de radón buscando una relación de incremento con los movimientos sísmicos de la región.

Informe de radón para la medición " Edificio x "
25/04/2020 - número de serie en curso 2900070845

Radon Measurement Report

Measurement of Radon Concentration in Indoor Air

Report ID.: 536975f6-e419-44e7-b922-450657109d26 Report Generated Date: 05-20-2021, 3:25 PM
 Serial No.: 2900070845

Measurement Address: edificio X **Measurement performed by:** Name: isidro guerrero

Ventilation: Natural Building type: Lugar de trabajo Building year: 1980

Room	Floor	Measurement Start	Duration	Measured Value	Measurement End
Otro	Primer piso	04-26-2020	364 days	0.45 pCi/L	04-25-2021

Radon Level: 0.45 pCi/L

I **isidro guerrero**, am responsible for the measurement and certificates, that it is done as per the recommendations of **Airthings**.

Figura 12. Datos Medidos por el Sensor, Abril/2020



Figura 13. Señales de los Parámetros Medidos por el Sensor, Abril/2020



Figura 14. Señales de los Parámetros Medidos por el Sensor, Mayo/2020.

	A	B	C
1	recorded;RADON_SHORT_TERM_AVG pCi/L;TEMP Â°F;HUMIDITY %		
2	2020-04-26T19:29:04;0.00;89.60;21.00		
3	2020-04-26T20:29:04;0.00;91.04;20.50		
4	2020-04-26T21:29:04;0.00;92.48;21.50		
5	2020-04-26T22:29:04;0.00;93.92;21.50		
6	2020-04-26T23:29:04;0.00;94.64;22.00		
7	2020-04-27T00:29:04;0.00;95.72;19.00		
8	2020-04-27T01:29:04;0.00;96.08;17.50		
9	2020-04-27T02:29:04;0.00;95.72;17.00		
10	2020-04-27T03:29:04;0.00;95.36;16.50		
11	2020-04-27T04:29:04;0.00;94.64;16.50		
12	2020-04-27T05:29:04;0.00;93.92;16.00		
13	2020-04-27T06:29:04;0.05;93.20;17.50		
14	2020-04-27T07:29:04;0.05;92.12;18.00		
15	2020-04-27T08:29:04;0.05;91.04;18.00		
16	2020-04-27T09:29:04;0.05;89.96;19.00		
17	2020-04-27T10:29:04;0.05;88.88;21.00		
18	2020-04-27T11:29:04;0.05;87.80;21.50		
19	2020-04-27T12:29:04;0.05;86.72;22.00		
20	2020-04-27T13:29:04;0.05;85.64;22.50		
21	2020-04-27T14:29:04;0.05;84.92;24.00		
22	2020-04-27T15:29:04;0.11;84.92;27.50		
23	2020-04-27T16:29:04;0.11;85.28;31.00		

Figura 15. Base de Datos Recopilas por el Sensor en Formato de Excel

6. CONCLUSIONES

Esta recopilación de datos de la concentración de gas radón en el interior de edificios en el Instituto Tecnológico de Mexicali, a través de un sensor que nos permite almacenar las lecturas por tiempos prolongados, este caso de estudio se realizó durante la pandemia, por un tiempo fue imposible tener acceso al sensor ya que el campo de estudio permaneció cerrado por protocolo de pandemia pues las autoridades emitieron alerta de semáforo rojo, una vez que al disminuyeron los casos de covid se permitió el acceso al campo de estudio, con esto se descargaron los datos almacenados para la recopilación y el análisis.

El gas radón forma parte de nuestro planeta Tierra desde la creación del mismo, es un elemento natural radioactivo, por lo que es parte del entorno en que vivimos, nos asentamos y construimos nuestros edificios de viviendas, trabajo, diversión lugares donde permanecemos hasta 8 horas inhalando el mismo aire desempeñando actividades tanto escolares como laborales y ya en nuestros hogares agregamos horas de exposición en algunos casos, esto se agrava con las pandemias donde estamos, encerrados. En bajas concentraciones el radón no presenta riesgo, pero la exposición prolongada a bajos niveles puede ocasionarnos problemas de salud graves.

En la graficas podemos observar que en el campo de estudio en lapsos de tiempo la concentración de radón subió un poco más de la media, esta recopilación de datos nos proporciona las bases para continuar con los

estudios en cuanto a la concentración de radón en interiores y el incremento de concentración del mismo debido a los temblores. Esta investigación continua ya que es necesario hacer más pruebas, tiempo de experimentación; ya que se necesita un sismo o varios para verificar la correlación de ello. También esta investigación ha sido inspirada por los casos de cáncer y fallecimientos en maestros del instituto tecnológico de Mexicali; en su honor y por preocupación, esta investigación continua.

7. REFERENCIAS

- [1] M. J. Escobar, B. D. Guaman, Alergias respiratorias y su relación con la contaminación ambiental, 2018, <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/4134>
- [2] R. F. Arduso, H. E. Neffen, E. Fernández, R. J. Saranz, C. A. S. Parisi, A. Tolcachier, A. Cicerán, S. Smith, J. F. Máspero, N. Nardacchione, D. Marino, Intervención ambiental en las enfermedades respiratorias, 2019 https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/128234/CONICET_Digital_Nro.bd82024a-cff6-4f51-80bc-8c9a6f3aa687_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [3] G. C. Espinoza, A. A. Carranza, Radón intramuros y salud pública, 2018 https://www.fisica.unam.mx/personales/espinoza/files/2018/2018-03-07_LIBRO_Radon_intramuros_y_salud_publica-Espinosa_y_Angeles_16p.pdf
- [4] S. I. Lagos, La instrumentación sísmica en México, 2018, <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/5533/1/TESIS%20LA%20INSTRUMENTACION%20C3%93N%20S%20C3%84SMICA%20EN%20MEXICO.pdf>
- [5] Servicio Sismológico Nacional, adscrito al Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México. Derechos Reservados © 1998-2021, UNAM. <http://www.ssn.unam.mx/divulgacion/preguntas/>
- [6] M. Cruz, Catalogo de las fallas regionales activas en el Norte de Baja California, México, 2002, <https://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos02-1/Cruz-Castillo02-1.pdf>
- [7] O. Sarayshikhina, Distribución especial y temporal de deformaciones del terreno en el valle de Mexicali, en el contexto de procesos tectónicos, antropogénicos y sísmico, 2010, <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1494>
- [8] B. Frutos, E. Muñoz, M. Olaya, C. Alonso, F. Consuegra, Singularidades en el diseño de soluciones de protección frente a gas radón, <https://digital.csic.es/bitstream/10261/211986/1/singularadon.pdf>
- [9] O. Lazaro, V. H. Garduño, A. Mendoza, A. Figueroa, R. Vazquez, G. M. Ramirez, A. Cortes, Concentraciones de gas radón (^{222}Rn) en suelo de la zona urbana de Morelia, Michoacán, México y su relación con fallas potencialmente sísmicas y asociadas con el proceso de subsidencia-fluencia, 2020, <http://rmcg.geociencias.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/1547>
- [10] N. S. Ruiz, Estudio exploratorio intradomiciliario de contaminación por gas radón usando pruebas cortas, 2006, <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/3088/1/MXL098812.pdf>