



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Estudio de Radón Intramuros en  
Ambientes Laborales

T E S I S

que para obtener el título de:

F I S I C O

presenta:

Lissette Mendoza Barrón



Director de tesis:  
Dr. Guillermo Espinosa García

2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Hoja de Datos del Jurado

1.	Datos del alumno Mendoza Barrón Lissette (015 97) 9781274 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Física 09716585-3
2.	Datos del tutor Dr. Guillermo Espinosa García
3.	Datos del sinodal 1 Dr. Horacio Martínez Valencia
4.	Datos del sinodal 2 Dr. Fermín Castillo Mejía
5.	Datos del sinodal 3 M. en C. Ricardo Martín Hernández Flores
6.	Datos del sinodal 4 Fís. Margarita Sánchez y Sánchez
7.	Datos de la Tesis Estudio de Radón Intramuros en Ambientes Laborales 95 p. 2008

# Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas, familiares y amigos quienes con su ayuda hicieron posible la realización de esta tesis.

- A mi familia Mario Mendoza Resendiz, Lucia Barrón Zavala, Mariano y Anzira Mendoza Barrón por su gran apoyo.
- A mi Tutor de tesis Guillermo Espinosa García por la dirección de este trabajo, su asesoría, ayuda, paciencia y sus consejos que fueron importantes en todo momento.
- A Jose Ignacio Golzarri quien además de ser un buen amigo ha sido muy importante su colaboración para la parte experimental de la tesis.
- A mi amigo y maestro Jorge Daniel Marroquín De La Rosa, agradezco muchísimo su apoyo, consejo y complicidad pues me ha acompañado en esta aventura desde el CCH.
- A Antonio Jacintos por su apoyo y motivación.
- A Pablo Villanueva y Luis Torres por su amistad, apoyo, enseñanza, ayuda y confianza incondicional para la edición de esta tesis.
- A Román Damián Mondragón a quien agradezco su paciencia, ayuda, consejo y en gran medida apoyo incondicional a lo largo de este proyecto de tesis.
- A mis amigos Maria Pacheco, Sergio Monroy, Ethel Ortega, Nicolas Delgado, Angel Marroquín, etc por ser con quienes compartí la carrera y con quien no solo aprendí un poco de física sino mucho de lo que es la amistad.

# Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis papas Lucia Barrón Zavala y Mario Mendoza Resendiz por darme siempre su apoyo, fortaleza, un excelente ejemplo de honestidad, fe, amor y voluntad.

A mis hermanos Mario y Anzira por siempre brindarme su apoyo económico y moral para cada uno de mis proyectos.

Mi familia es la mano invisible que me fue guiando para llegar hasta el día de hoy donde se realiza uno de mis más grandes sueños. Ellos siempre han tenido fe en mí, en mis capacidades y gracias a su apoyo, dedicación, sacrificio me han enseñado a disfrutar la vida.

# Índice general

<b>Introducción</b>	<b>XI</b>
<b>1. Aspectos Fundamentales</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes de la Radiactividad y de los modelos atómicos. . . . .	1
1.2. Isótopos . . . . .	5
1.3. Radiación, Alfa, Beta, Gamma y Rayos X . . . . .	6
1.3.1. Decaimiento Alfa . . . . .	7
1.3.2. Decaimiento Beta . . . . .	8
1.3.3. Radiación Gama . . . . .	8
1.4. Uranio y sus Cadenas Radiactivas . . . . .	9
1.4.1. Decaimiento Radiactivo . . . . .	12
1.4.2. Desintegraciones Sucesivas . . . . .	14
1.4.3. Equilibrio Secular . . . . .	15
1.4.4. Equilibrio transitorio . . . . .	16
1.4.5. No-Equilibrio . . . . .	17
1.5. Aspectos Generales del Radón . . . . .	18
1.6. Efectos del $^{222}\text{Rn}$ sobre la Salud . . . . .	21
1.7. El Gas Radón en el Interior de los Edificios . . . . .	23
<b>2. Metodología</b>	<b>25</b>
2.1. Detectores de Partículas $\alpha$ del Radón . . . . .	25
2.2. Métodos Dinámicos y Pasivos . . . . .	26
2.3. Trazas Nucleares en Sólidos . . . . .	27
2.4. Depósito de energía en sólidos . . . . .	27
2.5. Efectos en polímeros . . . . .	28
2.6. Mecanismos en la producción de las trazas . . . . .	28
2.7. Formación geométrica de la traza grabada . . . . .	30
2.8. Selección del material . . . . .	31

---

2.8.1. Exposición del detector a la radiación ionizante . . . . .	32
2.8.2. Método de Grabado . . . . .	33
2.8.3. Caracterización y lectura de la Traza . . . . .	33
2.8.4. Calibración, Fondo y Testigos . . . . .	34
<b>3. Instrumentación</b>	<b>37</b>
3.1. Grabado Químico . . . . .	37
3.2. Sistema de Conteo . . . . .	38
3.2.1. Sistema de Conteo Manual . . . . .	39
3.3. Sistema de Conteo Automático . . . . .	41
3.4. Estadística y Área de Conteo . . . . .	42
3.4.1. Organización de los datos . . . . .	44
<b>4. Resultados</b>	<b>45</b>
4.1. Estrategia de medición . . . . .	45
4.1.1. Selección de los lugares . . . . .	46
4.1.2. Características de los lugares donde se colocaron los dispositivos . . . . .	47
4.2. Niveles de Radón Intramuros . . . . .	48
<b>Conclusiones</b>	<b>53</b>
<b>Apéndice</b>	<b>57</b>

# Introducción

Se estima que pasamos alrededor de un 90 % de nuestras vidas en un ámbito intramuros [16]es decir en interiores de edificios laborales o casas habitación respirando aire con gas radón y sus descendientes, esto hace especialmente interesante el estudio de los valores de concentración de gas Radón ( $^{222}Rn$ ) que podamos encontrar dentro de nuestros ambientes, así como de las mejores formas de medir y cuantificar estos valores.

Tratar de comprender el comportamiento del gas radón en el interior de un edificio no es trivial. Existe una gran cantidad de factores que intervienen en el mismo. Desde el tipo de edificación, pasando por el uso de la misma y los hábitos de ventilación del personal que la habita, hasta la calidad de los materiales empleados en su construcción.

El gas radón presente en el subsuelo, es el principal foco de la radiactividad existente en el interior de las edificaciones, a las cuales entra principalmente a través de grietas de los cimientos, las paredes, huecos pared/cañería, e incluso por los propios ductos de los cuartos de baño.

En este trabajo se presenta el procedimiento y la evaluación de los niveles de radón intramuros en ambientes laborales de una parte del territorio Mexicano.

Se utilizó uno de los métodos pasivos por medio de Trazas Nucleares en Sólidos usando Allyl Diglicol policarbonato (PADC) que en su marca comercial es conocido como CR-39 de Landauer, (Lantrack ®) como material detector.

El trabajo de tesis fue realizado dentro del “Proyecto de Aplicaciones de la Dosimetría” del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México, en esta tesis se presentan los resultados del primer trimestre, decidiendo esto por razones de logística y tiempo. La evaluación total de concentraciones de radón intramuros duraría un año comprendiendo las 4 estaciones, primavera, verano, otoño e invierno



pues se conoce que existe variación estacional, [11] respecto a las concentraciones de radón intramuros.

Las mediciones totales de campo fueron en 288 lugares repartidas en 8 regiones a lo largo de la república Mexicana, es decir monitoreamos 24 estados cubriendo a 26 ciudades.

Los resultados dejan ver la importancia de parámetros como el aire acondicionado, la antigüedad de los edificios, clima externo y la referencia de donde se ubican los edificios.

Este trabajo de tesis está dividido en cuatro capítulos. En el capítulo uno se tratan los aspectos fundamentales de la física, del uranio mencionando sus cadenas radioactivas así como los aspectos generales del radón, como su distribución y algunos riesgos que presenta a la salud.

El capítulo dos describe el método de detección, sus características y cualidades. El material y dispositivo empleado, así como las condiciones del grabado químico, discutiendo acerca del depósito de energía en sólidos y de los mecanismos en la producción de trazas.

El capítulo tres describe la instrumentación usada para el grabado químico, los métodos de lectura de las trazas y parte de la estadística que se ocupa.

En el capítulo cuatro se dan los resultados obtenidos en el primer trimestre de evaluación y se hace la estadística de estas mediciones. Finalmente se tienen las conclusiones y aplicaciones posibles asimismo se comentan las diferentes regulaciones sobre los niveles aceptables de radón intramuros internacionalmente.

# Capítulo 1

## Aspectos Fundamentales

### 1.1. Antecedentes de la Radiactividad y de los modelos atómicos.

El descubrimiento de la radiactividad y de los elementos radiactivos naturales en los últimos años del siglo XVIII marcó el inicio de una serie de descubrimientos importantes que cambiaron completamente la idea que se tenía sobre la estructura de la materia. Se abandonó la noción que en el siglo XIX se tenía del átomo, la idea de que era un objeto simple, compacto e indivisible se cambió por la idea de una estructura más compleja, de aquí la importancia de hacer la siguiente reseña.

Los descubridores son Martin Heinrich Klaproth, científico alemán y Joens Jakob Berzelius, químico sueco. El primero descubrió a fines del siglo XVIII el elemento uranio, y el segundo fue el descubridor del elemento torio, a principios del siglo XIX. Klaproth en 1789 separó del mineral pechblenda que es un polvo negro, el uranio. En esa época Klaproth se impresionó con el descubrimiento del planeta Urano, por lo que al elemento recién descubierto dio el nombre de uranio.

En 1818, Joens Jakob Berzelius descubrió el torio al separarlo de un mineral conocido actualmente como torita. Ni Klaproth o Berzelius nunca sospecharon que los elementos descubiertos por ellos llegarían a ser tan importantes en el desarrollo del conocimiento de la ciencia y mucho menos que emanaran radiaciones de ellos.

El físico Antoine Henri Becquerel (1852-1908) en 1896 fue quien descubrió la radiación emitida por los minerales de uranio. Los estudios que realizaron en ese año Pierre (1859-1906) y Marie Curie (1867-1934) sobre los minerales de uranio y torio

condujeron al descubrimiento de dos elementos: el polonio y el radio, despertando un gran interés por una de sus principales características el emitir radiaciones muy penetrantes, a semejanza del uranio y el torio. A esta propiedad del radio y otros elementos inestables de emitir energía en forma de radiación al desintegrarse Marie Curie la llamo **radiactividad**.

Al descubrirse la radiactividad, los científicos no comprendían el origen de las radiaciones emitidas por el uranio y los otros elementos radiactivos. Se dieron cuenta de que la energía se originaba en el átomo y que éste no tenía una estructura sencilla como se pensaba. Joseph John Thomson (1856-1940) quien, en 1907, propuso un modelo del átomo, al que visualizó como una esfera con carga positiva, distribuida en el volumen del átomo de aproximadamente  $10^{-8}$  cm de diámetro. Supuso que partículas con cargas negativas, electrones, estaban dispersos en alguna forma ordenada en esta esfera. Éste fue el primer modelo del átomo que trató de explicar su constitución. Pero este modelo no fue capaz de explicar los experimentos que realizaba Ernest Rutherford (1871-1937), científico neozelandés, quien utilizaba una fuente de polonio emisora de radiación alfa como herramienta para realizar sus estudios.

Ernest Rutherford y su colaborador químico Frederick Soddy (1877-1956) propusieron una teoría que describía el fenómeno de la radiactividad. A este proceso se le conoce ahora como decaimiento radiactivo. En 1902, explicaron la naturaleza de la radiactividad y encontraron que el átomo ya no podía considerarse como una partícula indivisible. Descubrieron que los materiales radiactivos, al emitir radiación, se transforman en otros materiales, ya sea del mismo elemento o de otro.

La radiación emitida por el uranio y otros elementos radiactivos resultó ser bastante compleja; estaba constituida principalmente por tres componentes, a los cuales Rutherford les dio los nombres de alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y gamma ( $\gamma$ ), respectivamente, tomados de las tres primeras letras del alfabeto griego. Fue Rutherford y Soddy quienes observaron que para cada material radiactivo se podía asignar un tiempo en el que decaían la mitad de los átomos de la actividad original; este tiempo recibió el nombre de **vida media**.

En 1911, Rutherford realizó experimentos que lo llevaron a proponer el modelo nuclear del átomo, sentando las bases del conocimiento que se ha desarrollado actualmente sobre la estructura de la materia. Rutherford encontró que la masa del átomo estaba encerrada casi toda en un núcleo, así entonces parecía que el átomo era como una esfera prácticamente hueca, y el tamaño del átomo debía de ser inmensamente mayor que el de ese núcleo.

Su modelo, tenía un núcleo muy pequeño y muy denso cargado positivamente, rodeado de electrones cargados negativamente en movimiento alrededor del núcleo. En esa época las únicas partículas conocidas que podían constituir la materia eran los protones (de carga positiva), y los electrones (de carga negativa), Rutherford pensó originalmente que el núcleo podría estar formado por protones; sin embargo, no pudo explicar su modelo del núcleo con la presencia de sólo estas partículas. En 1920 predijo, la existencia de una partícula nuclear neutra, que era necesaria para la estabilidad del núcleo.

En 1913 el físico Danés, Niels Bohr, encontró algo en común entre la luz y el átomo, esto es el fotón. Bohr trata de incorporar los fenómenos de absorción y emisión de los gases, así como la nueva teoría de la cuantización de la energía desarrollada por Max Planck y el fenómeno del efecto fotoeléctrico observado y explicado por Albert Einstein. El modelo propuesto por Bohr coincide en algunas cosas con el modelo de Rutherford, ya que Bohr, admite la presencia de un núcleo que contiene prácticamente toda la masa del átomo, en este núcleo se encuentran presentes protones y neutrones. Los electrones con carga negativa, se mueven alrededor del núcleo en distintos niveles de energía, a estos niveles de energía los llamó estados estacionarios (órbitas) y les asignó un número entero positivo, partiendo desde el nivel más cerca del núcleo al que le asignó el número 1 y así sucesivamente, mientras más lejos este el nivel electrónico más grande es el número. Si un electrón se mueve de un nivel a otro, absorbe o libera energía en forma de fotones, sucede por la diferencia de energía que hay entre cada nivel. A medida que el nivel está más lejos del núcleo su cantidad de energía es mayor, sin embargo la diferencia de energía entre los niveles va disminuyendo, por lo tanto las transiciones de electrones entre un nivel y otro se producen más fácilmente. Los electrones no radian energía mientras permanezcan en orbitas estables. [4]

Si los electrones saltan de una órbita de menor energía a una de mayor energía absorbe un cuanto de energía (una cantidad) igual a la diferencia de energía asociada a cada órbita. Si pasa de una de mayor a una de menor, pierde energía en forma de radiación (luz). [21] Después de que Louis-Victor de Broglie (1892-1960) propuso la naturaleza ondulatoria de la materia en 1924, la cual fue generalizada por Erwin Schrödinger (1887-1961) en 1926, con lo que se actualizó nuevamente el modelo del átomo. En el modelo de Schrödinger se abandona la concepción de los electrones como esferas diminutas con carga que giran en torno al núcleo, que es una extrapolación de la experiencia a nivel macroscópico hacia las diminutas dimensiones del átomo. En vez de esto, Schrödinger describe a los electrones por medio de una función de onda, la cual representa la probabilidad de presencia en una región delimitada del

espacio, esta zona de probabilidad se conoce como orbital.

Para el modelo atómico actual tenemos que los principios básicos son: [22]

- La presencia de un núcleo atómico, donde se encuentra casi la totalidad de la masa atómica en un volumen muy pequeño.
- Los estados estacionarios o niveles de energía fundamentales en los cuales se distribuyen los electrones de acuerdo a su contenido energético.
- La dualidad de la materia (onda-partícula), en el caso de partículas pequeñas (electrones) la longitud de onda tiene un valor comparable con las dimensiones del átomo.
- La probabilidad, en cuanto a la posición, energía y movimiento de un electrón.

La función de onda depende de los valores de tres variables que reciben el nombre de números cuánticos. Cada conjunto de estos números, define una función específica para un electrón.

Los años treinta fueron también muy productivos en descubrimientos: en un periodo de siete años, se descubrieron el electrón positivo, el neutrón, la radiactividad artificial y la fisión nuclear. La mayor parte de los estudios fueron hechos en Francia, Inglaterra y Alemania.

Lo que se sabe ahora de la materia es en esencia la misma idea del modelo de Rutherford, sin embargo según la teoría atómica, lo que nos rodea está formado de moléculas y éstas de elementos, sustancias sencillas que no pueden descomponerse en otras más sencillas por cambio químico. Los elementos, a su vez, están formados por átomos, partículas de un diámetro de aproximadamente  $10^{-10}$  m.

El tamaño del núcleo quien concentra la carga positiva del átomo es del orden de  $10^{-15}$ , una diezmilésima más pequeño que el átomo, éste contiene casi toda la masa del átomo y en muchos casos es aproximadamente 4 000 veces más pesado que los electrones periféricos, pero tiene dimensiones muy pequeñas. [4]

## 1.2. Isótopos

Una vez que se estableció el modelo nuclear del átomo, se hizo evidente que las transformaciones radiactivas son procesos nucleares. Los núcleos, están formados principalmente por protones y neutrones. El número de protones  $Z$ , con carga positiva, determina el elemento químico al que pertenece el átomo, lo que significa que este número también es igual al número de electrones extranucleares en el átomo neutro, es decir  $Z$  es su número atómico.

Los neutrones no tienen carga eléctrica; su presencia en los núcleos en número  $N$  contribuye a la masa nuclear así entonces tenemos que, el número total de nucleones, es la suma de protones ( $Z$ ) y neutrones ( $N$ ), a esto se le conoce como masa atómica  $A$  ( $A=Z+N$ ). [28]

Los núcleos atraen eléctricamente a cuantos electrones se requieran para balancear su carga. Las cargas de protones y electrones son de igual magnitud pero de signo opuesto, así pues un átomo neutro tiene tantos electrones como protones.

Mendeleiev agrupó los elementos, por orden creciente de sus pesos atómicos, en periodos o series, de manera que quedasen ordenados por propiedades semejantes. Ya para el año de 1912 se habían encontrado un gran número de diferentes materiales radiactivos.

Soddy encontró que los diferentes materiales radiactivos no siempre se podían separar unos de otros por técnicas químicas, lo cual indicaba que eran partes de un mismo elemento químico, que cada grupo de especies inseparables correspondía a un solo elemento químico y que en el mismo sitio de la tabla periódica quedaban clasificados átomos químicamente iguales con núcleos diferentes y con propiedades físicas distintas. Soddy propuso el nombre de **isótopo**, del griego iso-igual y topos-lugar, para designar a las especies de un grupo, indica que tales especies ocupan el mismo lugar en la clasificación de los elementos.

Todos los núcleos que tienen el mismo número de protones ( $Z$ ), pero con diversas combinaciones de neutrones ( $N$ ), se llaman **isótopos**. Todos los isótopos de un elemento tienen la misma cantidad de electrones periféricos y esta cantidad es igual al número de protones del núcleo. Como el comportamiento químico de los elementos depende de sus electrones, entonces se puede decir que todos los isótopos de un elemento se comportan químicamente en la misma forma.

### 1.3. Radiación, Alfa, Beta, Gamma y Rayos X

La radiación puede ser por su origen natural o producida por el humano. Las radiaciones nucleares naturales que tradicionalmente conocemos es alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ), podemos considerar otros tipos de radiación como los rayos X, los protones, neutrones, neutrinos ( $\nu$ ) energéticos. [28]

Las propiedades químicas de los elementos, o sea, su capacidad de unir sus átomos a otros compartiendo electrones están determinadas por la estructura de capas de los electrones en los átomos, estas capas son **K,L,M etc.** donde K es la capa más cercana al núcleo estando los electrones fuertemente ligados es decir con una gran fuerza de amarre y así sucesivamente para las siguientes capas, entonces para separar alguno de estos electrones necesitamos mucha energía.

La **ionización** es la acción de separar completamente a un electrón del resto del átomo, la unidad de energía que se usa es el **electrón-volt (eV)** que es la energía cinética que adquiere un electrón al atravesar por una diferencia de voltaje de 1 volt. La acción de ionizar un átomo rompe su equilibrio eléctrico pues queda un electrón suelto por un lado y por el otro un átomo con carga eléctrica neta positiva, que le hace falta un electrón; se le llama **ión positivo**. Es inmediato pensar que este desequilibrio tendrá consecuencias con el resto de las uniones de los átomos circundantes.

La característica que hemos llamado radiación ionizante es precisamente la que tiene la capacidad de ionizar la materia. Para ionizar, la radiación debe llevar energía y poder transmitirla a la materia, donde los principales cambios que se producen en la materia son en sus propiedades químicas o simplemente la pérdida o adquisición de una carga.

De acuerdo con el modelo atómico actual, sabemos que la presencia de capas u órbitas se debe a que en un átomo dado sólo pueden existir ciertas energías de amarre, o niveles de energía, donde cada elemento tiene su propia estructura y también con esto podemos identificar a los distintos elementos.

El proceso completo de transformación se llama **radiactividad** y los nucleidos inestables **radionucleidos**. La característica básica de la radiación ionizante es que requiere energía para producir la ionización y esa energía debe estar concentrada en espacios muy pequeños para poder transmitirse a los electrones atómicos. La radiactividad es uno de los fenómenos que ha tenido la mayor importancia en el desarrollo de la física atómica y nuclear.

### 1.3.1. Decaimiento Alfa

Soddy describió el modo en que un átomo cambia al emitir una **partícula alfa** ( $\alpha$ ), la cual está constituida por dos protones y dos neutrones. Cuando un núcleo decae por la emisión de una partícula alfa su masa atómica disminuye en cuatro unidades, ya que pierde dos neutrones y dos protones y su número atómico en dos unidades, pues pierde dos cargas positivas del núcleo. Los emisores de  $\alpha$  son elementos pesados con  $Z > 82$  y  $A > 210$ .

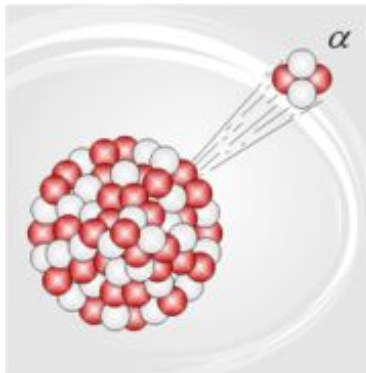


Figura 1.1: Partícula Alfa [21]

Las partículas  $\alpha$  son muy pesadas, casi 8000 veces más que los electrones y 4 veces más que los protones. Tienen carga positiva  $+2qe$  debido a la ausencia de los electrones, son desviadas por campos eléctricos y magnéticos. Alcanzan una velocidad igual a la veintava parte de la de la luz ( $c/20$ ) = 15000 km/s. Poseen una gran energía cinética ya que tienen mucha masa (4 uma) y una gran velocidad.

Debido a su gran energía, al atravesar el aire ionizan muchas partículas antes de atenuarse después de recorrer algunos milímetros. Debido a su tamaño, al incidir sobre un sólido, este la detiene fácilmente. Una lámina de aluminio de 0,1 mm de grosor las frena totalmente e impide su paso, pero ionizan fuertemente la materia en la que inciden.

Cuando se forman las partículas  $\alpha$ , el núcleo pasa del estado inicial a otro excitado de menor energía. Para salir de este estado y quedar estable emite radiación  $\gamma$ .

La radiación alfa es frenada por una hoja de papel y en el caso de irradiar seres vivos apenas puede penetrar las capas exteriores de la piel. Por ello no es peligrosa a



menos que las sustancias que la emiten se introduzcan en el cuerpo a través de una herida abierta, que sean ingeridas o inhaladas, siendo en estos casos especialmente peligrosas.

### 1.3.2. Decaimiento Beta

Una **partícula beta** ( $\beta$ ) es un electrón que sale despedido de un suceso radiactivo. Si un átomo emite una partícula beta, su carga eléctrica aumenta en una unidad positiva y el número de masa no varía, debido a que la masa del electrón es despreciable frente a la masa total del átomo. En cambio, al ser emitida una carga negativa, el átomo queda con una carga positiva más, para compensar el total de la carga eléctrica, con lo cual el número de electrones disminuye. Este proceso es debido a la desintegración de un neutrón en un protón y un electrón. La desintegración o emisión beta es un proceso por el cual un nucleido no estable puede transformarse en otros nucleidos

La radiación beta es más penetrante; desde algunos milímetros hasta unos dos centímetros en los seres vivos, según sea su energía.

### 1.3.3. Radiación Gama

La **radiación gamma** ( $\gamma$ ) es un tipo de radiación electromagnética producida generalmente por elementos radioactivos o procesos subatómicos, no interactúan directamente con la materia pues lo hacen a través del efecto Compton, el efecto fotoeléctrico y la producción de pares. Esta radiación se produce en la desexcitación de un nucleón de un nivel excitado a otro de menor energía y en la desintegración de isótopos radiactivos, en la mayoría de los casos acompañan a la emisión de partículas alfa o beta y acarrear el exceso de energía que tiene el núcleo después de su decaimiento.

Cuando un átomo emite radiación gamma (sin carga), se altera su contenido energético pero no cambia el número de nucleones, de modo que continúa siendo el mismo elemento y no cambia su posición en la tabla periódica.

Debido a las altas energías que posee, la radiación gamma constituye un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa o beta. La energía de este tipo de radiación se mide en megaelectronvoltios

(MeV). Un Mev corresponde a fotones gamma de longitudes de onda inferiores a  $10^{-11}$ m o frecuencias superiores a  $10^{19}$ Hz.

La radiación  $\gamma$  se diferencia de los rayos X en su origen. Los rayos X es una radiación electromagnética tal como las ondas de radio, las ondas de microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos ultravioleta, pero producidos por el efecto Bremsstrahlung.

## 1.4. Uranio y sus Cadenas Radiactivas

Los materiales radiactivos naturales se pueden clasificar en tres categorías, que son radioisótopos primarios, secundarios e inducidos. La primera categoría se llaman así por existir desde que se formó la Tierra (aproximadamente de cinco mil millones de años) y son aquellos que tienen una vida media muy larga, quizás como la edad de la Tierra o más.

El torio y el uranio se encuentran en cantidades variables tanto en el suelo como en las rocas. Cerca de los yacimientos de uranio y torio, la radiactividad se encuentra en concentraciones muy superiores al promedio de otros lugares. La mayoría de los radioisótopos primarios proviene del  $^{238}\text{U}$ , el  $^{232}\text{Th}$  y, finalmente, el  $^{235}\text{U}$ .

Ya desde 1900 se había descubierto que los compuestos de uranio recién preparados eran sólo débilmente radiactivos, pero que su radiactividad aumentaba con el tiempo. Fueron Rutherford y Soddy quienes encontraron que cuando un átomo de uranio emite una partícula alfa su naturaleza cambia, se convierte en un nuevo tipo de átomo, con diferentes características radiactivas, produciendo radiaciones más intensas que las del propio uranio.

Este segundo átomo se descompone a su vez formando un tercer tipo de átomo, y así sucesivamente. Mostraron que existen cadenas de núcleos emparentadas entre diversos cuerpos radiactivos, que un átomo muere y da lugar al nacimiento de uno o varios átomos de especies diferentes. Como ya vimos estos nuevos átomos radiactivos son los radioisótopos que pertenecen a la segunda categoría, se van formando por el decaimiento de otros isótopos radiactivos. Como tienen vidas medias muy cortas comparadas con la edad de la Tierra, no podría explicarse su existencia si no fuera porque se están formando continuamente por desintegración de los isótopos primarios.

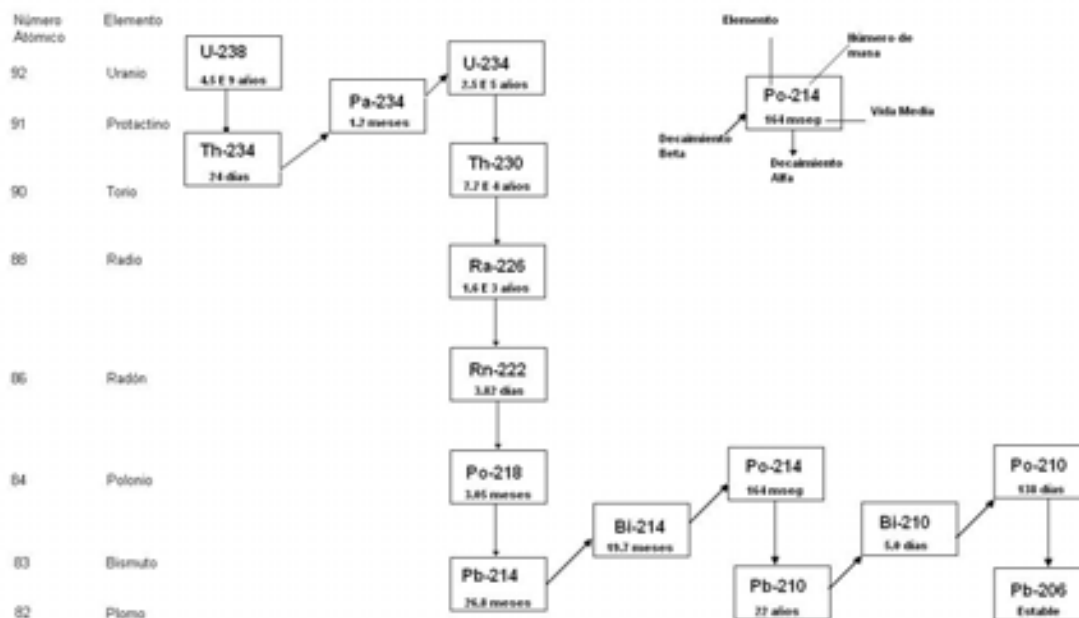


Figura 1.2: Cadena de Desintegración del  $^{238}\text{U}$  [19]

Las investigaciones sobre las desintegraciones sucesivas han permitido agrupar las sustancias radiactivas en series o familias. En general, las sustancias que son las cabezas de estas series tienen una masa muy elevada. Una serie radiactiva completa se inicia con el **padre**, o cabeza de serie, y termina en el isótopo estable; los isótopos generados por desintegraciones sucesivas son los descendientes o **hijos**.

El  $^{238}\text{U}$  tiene una vida media de  $4.51 \times 10^9$  años; en la Tierra, sólo una parte de la reserva original de uranio ha tenido posibilidades de desintegrarse. Este isótopo del uranio es padre o cabeza de una de las series radiactivas naturales que incluye el radio y el polonio y acaba finalmente en el plomo, que no es radiactivo. Como se mencionó antes la “radiación uránica” observada por Becquerel se debe a la inestabilidad del  $^{238}\text{U}$  que al desintegrarse, emite una partícula alfa y se transforma en  $^{232}\text{Th}$ ; éste origina otro núcleo inestable, y así sucesivamente. En la figura 1.2 se muestra la cadena del  $^{238}\text{U}$ .

Además del  $^{238}\text{U}$ , se tiene la segunda serie del  $^{232}\text{Th}$  con vida media de  $1.41 \times 10^{10}$  como se muestra en la figura 1.3

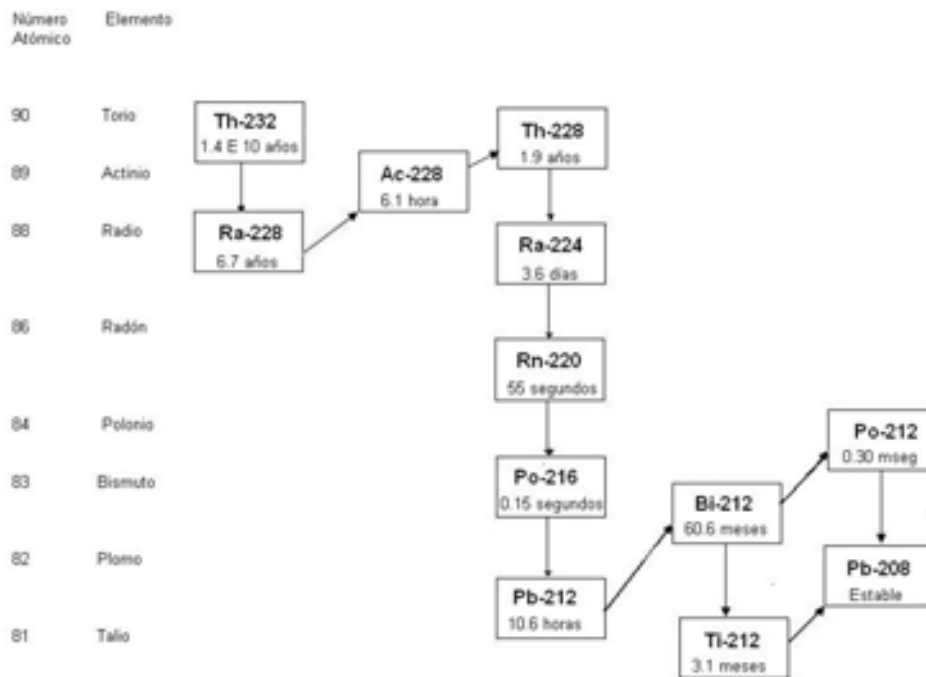


Figura 1.3: Cadena de Desintegración del  $^{232}\text{Th}$  [19]

El  $^{235}\text{U}$ , de una vida media de  $7.18 \times 10^8$  años, encabeza una tercera serie y su último miembro de la familia es también otro isótopo estable del plomo, de masa 203, en la figura 1.4 se muestra la cadena del  $^{235}\text{U}$ .

En cada una de las series radiactivas existe un isótopo del gas noble radón que escapa del material natural y se incorpora a la atmósfera. Estos gases radiactivos son el radón-220 ( $^{220}\text{Rn}$ ), el radón-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ) y el radón-219 ( $^{219}\text{Rn}$ ).

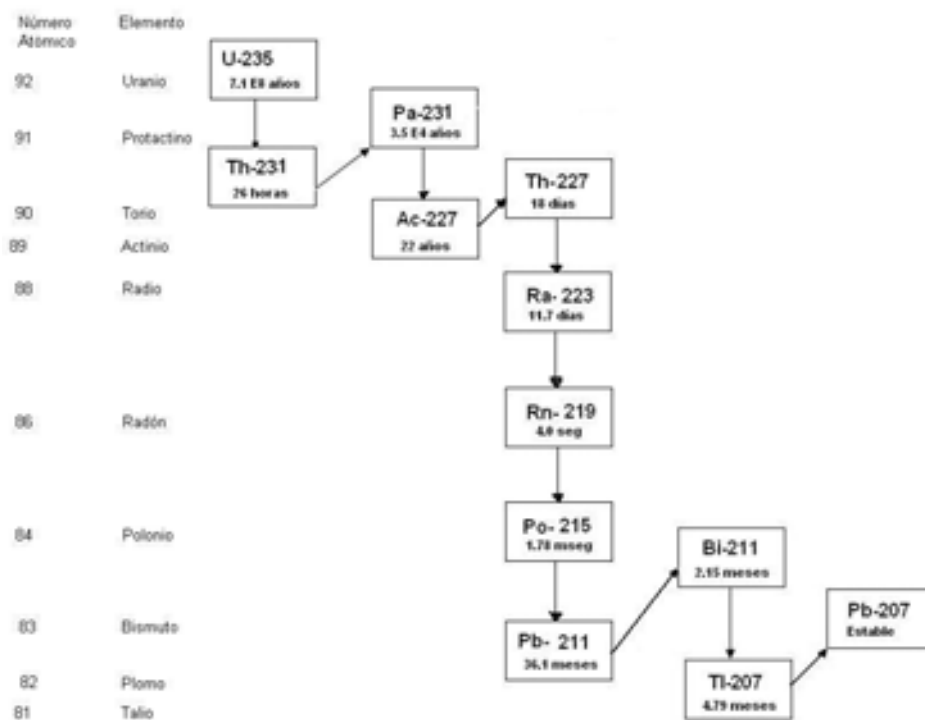


Figura 1.4: Cadena de Desintegración del  $^{235}\text{U}$  [19]

### 1.4.1. Decaimiento Radiactivo

El decaimiento de un radionucleido puede ser descrito matemáticamente, tomando en cuenta las expresiones que se aplican vienen gobernadas por probabilidades estadísticas. Esta probabilidad de desintegración es equivalente al grado de inestabilidad del núcleo precursor. Cada núcleo radioactivo tiene su propio grado de inestabilidad, que se expresa mediante la **vida media** asociada a este nucleido (tiempo que tarda en desintegrarse la mitad de los átomos iniciales, o periodo radioactivo).

La **Ley fundamental de desintegración radioactiva** se basa en el hecho de que la transición del núcleo padre al hijo, es un proceso puramente estadístico. La probabilidad de decaimiento es una propiedad fundamental del núcleo atómico y permanece constante en el tiempo. Esta ley se expresa matemáticamente como:

$$dN = -\lambda N dt \quad (1.1)$$

es decir

$$\lambda = \frac{(-dN/dt)}{N} \quad (1.2)$$

Donde  $N$  es el número de núcleos radioactivos,  $-dN/dt$  el decrecimiento (negativo) de este número por unidad de tiempo y  $\lambda$  es la probabilidad de desintegración por núcleo y por unidad de tiempo. Esta constante de desintegración  $\lambda$  es característica para cada tipo de desintegración de cada nucleido.

La **actividad** o la tasa de desintegración se define como el número de desintegraciones por unidad de tiempo:

$$A = \left| \frac{-dN}{dt} \right| = \lambda N \quad (1.3)$$

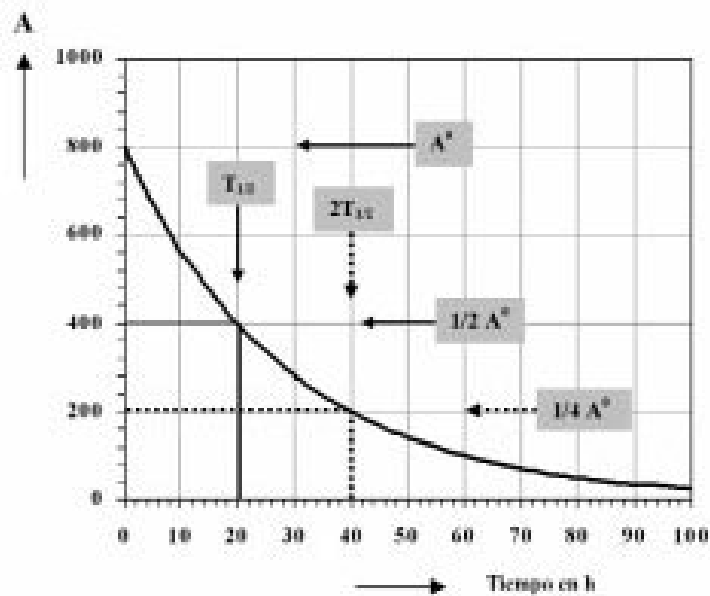


Figura 1.5: La Actividad,  $A$ . En el ejemplo tenemos que después de cada intervalo de tiempo igual a la vida media período radioactivo (20 horas), el número de núcleos radioactivos y la radioactividad original (800 unidades) disminuye a la mitad.

Integrando esta relación y aplicando las condiciones de  $t = 0$  y  $N = N_0$  se obtiene:

$$\ln(N/N_0) = -\lambda t \quad (1.4)$$

de donde se llega a la ecuación exponencial de desintegración:

$$N = N_o e^{-\lambda t} \quad (1.5)$$

Donde  $N_o$  denota los átomos iniciales que no han decaído,  $N$  son los átomos residuales y  $t$  el tiempo considerado para el decaimiento. Si se utiliza la Ec. 1.3:

$$A = A_o e^{-\lambda t} \quad (1.6)$$

El tiempo durante el cual  $A_o$  decrece hasta llegar a  $A$  (igual a la edad del material) es:

$$T = (-1/\lambda) \ln(A/A_o) \quad (1.7)$$

Las relaciones de las Ecs. 1.5 y 1.6 indican la velocidad a la que el número inicial de núcleos radioactivos ( $N_o$ ) y la radioactividad inicial ( $A_o$ ) decrecen con el tiempo 1.5

A menudo, cuando se quiere expresar el grado de inestabilidad o la razón de desintegración de un núcleo radioactivo se utiliza la **vida media** ( $T_{1/2}$ ) también designada periodo radioactivo, en lugar de la constante de desintegración ( $\lambda$ ). Se define como el periodo de tiempo requerido para que desaparezca la mitad de la radioactividad es decir el tiempo requerido para que se desintegre la mitad de los núcleos Fig 1.5

$$T_{1/2} = (-1/\lambda) \ln(1/2) \quad (1.8)$$

De donde:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (1.9)$$

### 1.4.2. Desintegraciones Sucesivas

Los productos radiactivos ya sean naturales o artificiales pueden decaer en una forma sucesiva. Un elemento padre puede decaer en otro elemento llamado elemento hijo, si este es radiactivo decaerá en otro elemento llamado elemento nieto y así sucesivamente hasta obtener un elemento estable.

El núcleo padre decae de acuerdo con las ecuaciones de desintegración radioactiva ya vistas:

$$A_1 = -\frac{dN_1}{dt} = \lambda_1 N_1 \quad (1.10)$$

Entonces

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad y \quad A_1 = A_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad (1.11)$$

La cantidad de núcleos hijos se determina mediante dos procesos: (i) la desintegración radioactiva y (ii) la acumulación radioactiva por la desintegración del núcleo padre, respectivamente:

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2 + \lambda_1 N_1 \quad (1.12)$$

La solución de la ecuación diferencial es:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t} \quad (1.13)$$

Se aplica la condición inicial de que la actividad es cero en el tiempo inicial  $N_2^0=0$  resultando:

$$A_2 = \lambda_2 N_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (1.14)$$

El último término representa la desintegración del total de núcleos hijos presentes en el tiempo  $t=0$ . De aquí se deduce que el cociente entre  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  es el factor dominante que determina la evolución de la actividad del núcleo hijo en función del tiempo. A continuación se mencionan brevemente los 3 casos posibles de este cociente.

### 1.4.3. Equilibrio Secular

Este tipo de relación entre la actividad del núcleo padre y del hijo tiene lugar cuando el periodo radioactivo del núcleo padre es infinitamente más grande que la del núcleo hijo. Tal sucede por ejemplo con las relaciones entre los isótopos de largo periodo del uranio y el torio,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y sus productos de desintegración  $\lambda_1 \ll \lambda_2$  la ecuación 1.10 describe de manera adecuada la actividad del núcleo padre en función del tiempo mientras que la ecuación 1.13 se convierte en:

$$A_2 = A_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (1.15)$$

O para  $\lambda_1=0$

$$A_2 = A_1^0 (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (1.16)$$

Esta es la ecuación que describe el crecimiento de la actividad del núcleo padre en función del tiempo, considerando que inicialmente  $A_2 = 0$ . La figura 1.6 presenta



las evoluciones de ambas actividades. Finalmente (para  $t \rightarrow \infty$  con  $\lambda_2 t \rightarrow \infty$  en la ecuación 1.15) la actividad del núcleo hijo alcanza el valor:

$$A_2 = A_1^0 e^{-\lambda_1 t} = A_1 \quad (1.17)$$

En otras palabras la actividad del padre e hijo se igualan.

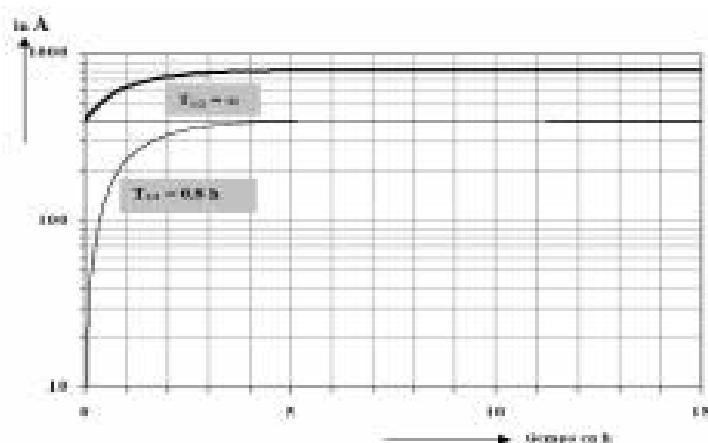


Figura 1.6: Equilibrio Secular. La línea superior representa la suma de la actividad del padre y el hijo.

#### 1.4.4. Equilibrio transitorio

En este caso, el periodo del núcleo padre continua siendo más grande que la del hijo aunque no infinitamente mayor:  $\lambda_1 < \lambda_2$

Si se considera la condición de que la actividad es cero en el tiempo cero, el crecimiento del núcleo hijo se expresa según la ecuación 1.13. Después de un tiempo suficiente como para que la actividad del núcleo descendiente sea mayor que la del precursor se llegará, como era de esperar, a un estado estacionario. La figura 1.7 muestra las evoluciones de ambas actividades:

$$A_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_1^0 e^{-\lambda_1 t} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_1 \quad (1.18)$$

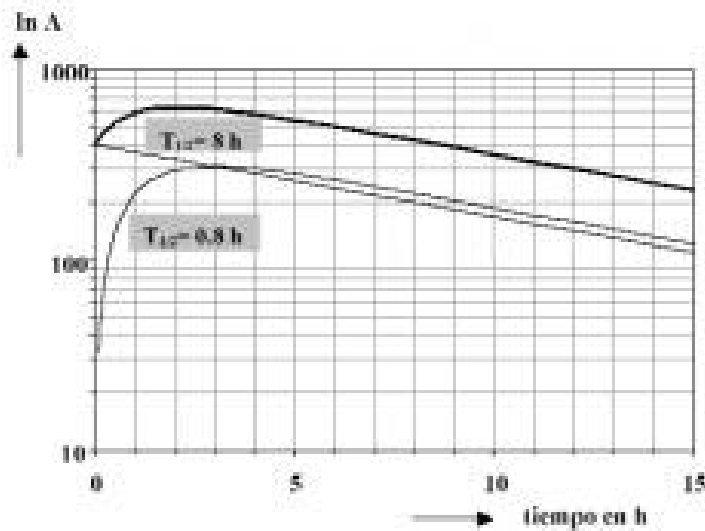


Figura 1.7: Equilibrio transitorio. La línea gruesa representa la suma de las actividades del padre y del hijo.

### 1.4.5. No-Equilibrio

En este caso el periodo radioactivo del núcleo hijo es mayor que el del padre:  $\lambda_1 > \lambda_2$ . La actividad del núcleo hijo crece según la ecuación 1.13. Figura 1.8

$$A_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} A_1^0 e^{-\lambda_2 t} \quad (1.19)$$

Después de un periodo  $t_{max}$  la actividad del núcleo hijo alcanza un valor máximo para:

$$\frac{dA_2}{dt} = 0 = \frac{-\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_1^0 e^{-\lambda_1 t_{max}} + \frac{\lambda_2^2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_1^0 e^{-\lambda_2 t_{max}} \quad \text{o} \quad \lambda_1 e^{-\lambda_1 t_{max}} = \lambda_2 e^{-\lambda_2 t_{max}} \quad (1.20)$$

Después de un periodo  $t_{max}$  la actividad del núcleo hijo alcanza un valor máximo para:

$$t_{max} = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (1.21)$$

Substituyendo la ecuación 1.20 en la ecuación 1.13 se deduce que, en el tiempo en el que se alcanza este máximo, las actividades del núcleo padre e hijo se igualan, Figura 1.8

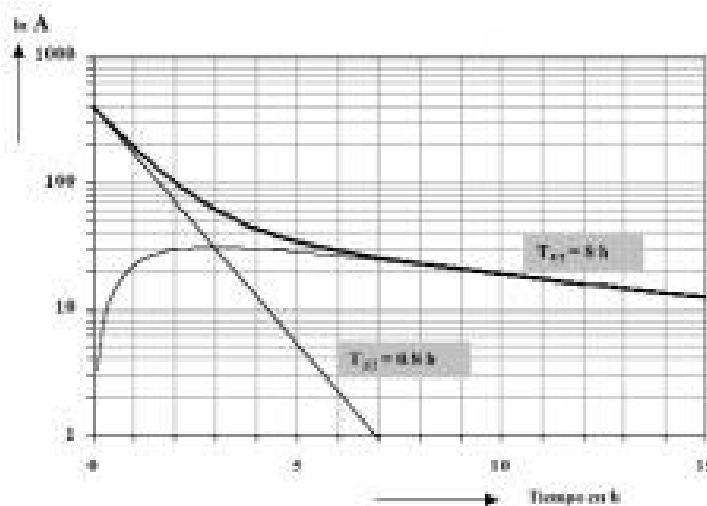


Figura 1.8: Caso de no-equilibrio. Pueden verse las dos actividades y la actividad total.

## 1.5. Aspectos Generales del Radón

El radón es el único gas radiactivo emisor de partículas  $\alpha$ , fue descubierto por F. E. Dorn en 1900.

El **radón (Rn)** es directamente producido por el Radio (Ra) como parte de su cadena radiactiva. Es incoloro, inodoro e insípido y por ser un gas noble carece prácticamente de actividad química frente a otros elementos de la tabla periódica. Una característica común en todas las cadenas radiactivas naturales que se muestran en las Figuras 1.2, 1.3, 1.4 es la existencia del radón. Con un número atómico de  $Z = 86$  y un radio atómico de  $1.34 \text{ \AA}$ , el Rn es el gas monoatómico más pesado de la naturaleza, su densidad es de  $9.73 \text{ g/dm}^{-3}$  su punto de ebullición es a los  $-61^\circ\text{C}$ , su punto de fusión es de  $-71^\circ\text{C}$ .

La reducida actividad química que caracteriza a los gases nobles no impide que existan agregados de radón. Cuanto más pesado es el gas noble, mayor será la facilidad para la licuación, así como su solubilidad en agua y otros líquidos.

El radón presenta una gran facilidad para ser absorbido por una gran variedad de sólidos, (como el carbón activado), dada la relación existente entre esta propiedad

y la facilidad para condensarse, al ser el estado absorbido un estado condensado. Se obtiene bombeando los gases producidos por una solución de sales de radio, una mezcla con hidrógeno y oxígeno, se produce una chispa, se remueve el agua y el dióxido de carbono por absorción luego se separa el radón por congelación. [2]

Se conocen 25 isótopos del radón de los cuales sólo 3 ocurren en forma natural:  $^{219}\text{Rn}$  conocida como el actinio, el  $^{220}\text{Rn}$  como torón y el  $^{222}\text{Rn}$  es el radón por razones históricas. Estos isótopos también son radiactivos y cada uno forma una cadena radiactiva natural diferente. Así, el  $^{222}\text{Rn}$  es un eslabón de la cadena radiactiva del  $^{238}\text{U}$  (Figura 1.2), el  $^{220}\text{Rn}$  de la cadena del  $^{232}\text{Th}$  (Figura 1.3), y el  $^{219}\text{Rn}$  de la del  $^{235}\text{U}$  que, como vemos en la Figura 1.4, pasa por el  $^{227}\text{Ac}$ , de donde procede el nombre histórico. Estos isótopos del radón constituyen los únicos elementos gaseosos de sus respectivas cadenas radiactivas. [25]

Mientras que normalmente un elemento estable se considera formado por unas proporciones establecidas de sus isótopos, en este caso, dadas sus cortas vidas medias, la concentración de estos isótopos en el medio ambiente, dependerá de la abundancia de sus padres y del periodo de desintegración de los mismos.

El isótopo más estable del radón es el  $^{222}\text{Rn}$  ( $T_{1/2}=3.82$  días), es hijo directo del  $^{226}\text{Ra}$  a través de una desintegración  $\alpha$ . Sus productos de desintegración forman una serie de radionucleidos, de vida media corta, que decaen en cuestión de horas a  $^{210}\text{Pb}$ , el cual tiene una vida media de 22 años (Figura 1.2). Debido a sus cortas vidas medias, los hijos del radón se aproximan rápidamente al equilibrio con su padre. Asumiendo que la concentración de todos los hijos de un núcleo son inicialmente cero, la concentración de un núcleo cualquiera de la cadena de desintegración vendría dada por la Ecuación 1 (Ecuaciones de Bateman):

$$n_i = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{i-1} n_1(0) \sum_{j=1}^i \frac{e^{-\lambda_j t}}{\prod_{k=1, k \neq j}^i (\lambda_k - \lambda_j)} \quad (1.22)$$

Según esta ecuación, el  $^{226}\text{Ra}$  tardará unos 30 días en alcanzar el equilibrio secular con el  $^{222}\text{Rn}$ , mientras que el  $^{222}\text{Rn}$  tardará apenas 3.5 horas en alcanzarlos con sus hijos de periodo corto.

El actinión ( $^{219}\text{Rn}$ ), debido a su periodo de semidesintegración ( $T_{1/2}= 3.96$  s), presenta una limitada capacidad de migración. Esto, unido a la abundancia isotópica de  $^{235}\text{U}$  en el uranio natural (0.711 %), [1] hace que su presencia en la atmósfera sea despreciable. Por otra parte, el  $^{232}\text{Th}$  es más abundante que el  $^{238}\text{U}$  en la corteza

terrestre, pero su probabilidad de desintegrarse es menor, con lo que la cantidad de  $^{222}\text{Rn}$  en el suelo será similar a la de  $^{220}\text{Rn}$ . El torón tiene una vida media apenas 55.6 s, lo que inhibe su movilidad respecto a la presentada por el radón. Por lo tanto, en cualquier atmósfera, el isótopo dominante del radón será el  $^{222}\text{Rn}$

Una vez en la atmósfera, la desintegración del  $^{222}\text{Rn}$  y  $^{220}\text{Rn}$  produce isótopos de polonio, plomo y bismuto, así como talio en el caso del  $^{220}\text{Rn}$ . Estos son metales pesados, muy activos químicamente, que rápidamente formarán moléculas en fase condensada. Unidos a partículas de polvo, forman aerosoles radiactivos que pueden ser inhalados.

En condiciones normales, el  $^{222}\text{Rn}$  constituye la mayor fuente de exposición a la radiación natural en humanos del total de radiación natural recibida, el 43% de la dosis anual según Naciones Unidas [30] (Figura 1.9). La peligrosidad de la exposición a altas concentraciones de radón, no proviene de este gas en sí, sino de su progenie, que son elementos emisores de partículas  $\alpha$  en estado sólido, que se fijan al tejido pulmonar radiándolo.

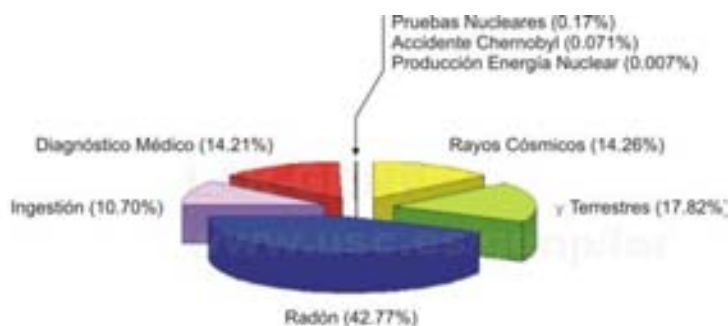


Figura 1.9: Diagrama proporcional de la dosis anual recibida por el Ser Humano a lo largo del año (UNSCEAR, 2000).

Los productos de desintegración del  $^{222}\text{Rn}$  se pueden dividir en dos grupos: **los de vida media corta**, que incluye el  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  y  $^{214}\text{Po}$ , y **los de vida media larga**, entre los que están el  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{210}\text{Bi}$ . Dado que el elemento de mayor vida media del primer grupo tiene una  $T_{1/2}$  de 27 minutos, toda la secuencia de desintegraciones se puede completar antes de que las diferentes formas de eliminación de partículas del

organismo presentes en el cuerpo humano se puedan eliminar [1]. La energía cinética de las partículas emitidas se disipa en el seno de la materia celular, bien mediante la creación de iones y radicales libres, o bien rompiendo directamente moléculas clave (como la de ADN), circunstancia que puede acarrear problemas graves de salud [3]. Por otra parte, el grupo de vida media larga contribuye poco a la exposición a la que se ven sometidos los pulmones, puesto que el primer nucleido, el  $^{210}\text{Pb}$ , tiene una vida media de 22.3 años, con lo que tendrá una alta probabilidad de ser eliminado por el propio organismo antes de su desintegración. Una fracción pequeña del radón atraviesa los capilares sanguíneos, incorporándose a la sangre, que lo distribuye por el organismo, pudiendo acumularse en el tejido adiposo [16].

El caso del  $^{220}\text{Rn}$  es diferente. En su cadena no existen hijos de largo periodo de semidesintegración, siendo el radionucleido más importante de su cadena el  $^{212}\text{Pb}$ , con una vida media de 10.64 horas, tiempo durante el cual puede ser absorbido y pasar al torrente sanguíneo, siendo así transportado a otros órganos.

La exposición al radón ocurre, mayormente, por su inhalación en recintos deficientemente ventilados. También puede asimilarse radón y sus descendientes, vía la ingestión del mismo, bien sea disuelto en agua, (en balnearios) [29], o bien a través del consumo de vegetales, y más notablemente con el tabaco [26].

## 1.6. Efectos del $^{222}\text{Rn}$ sobre la Salud

La cantidad de radiación recibida por un ser humano es relativamente similar en todas las partes del planeta y se estima que no ha variado mucho en el transcurso del tiempo. Se pueden distinguir dos mecanismos de irradiación los cuales son:

**La externa**, es cuando la radiación proviene fuera del cuerpo, los responsables de ésta son los rayos cósmicos y la radiación gamma generados en la propia tierra. Los primeros vienen del espacio exterior, formados principalmente de protones y neutrones con velocidades cercanas a la de la luz, éstos interactúan con los núcleos de átomos presentes en la atmósfera. Esta interacción lleva a cabo reacciones nucleares en las cuales son creadas partículas que continúan su viaje hacia la superficie de la tierra. Las partículas con carga eléctrica van ionizando y excitando a las moléculas de aire ocasionando una pérdida gradual de su energía inicial. Una fracción mínima de los rayos cósmicos primarios logra llegar hasta la superficie terrestre y son principalmente los muones, producidos en la alta atmósfera por los rayos primarios que constituyen el espectro de radiación cósmica en la superficie.

Una consecuencia del efecto absorbente de la atmósfera es que la intensidad de los rayos cósmicos aumenta según la altura de la superficie respecto al nivel del mar. Así entonces no será la misma cantidad de radiación recibida por los habitantes de la ciudad de México que los que viven en el nivel del mar.

**La interna**, que se debe fundamentalmente a la inhalación de polvo que contenga partículas radiactivas, o bien por la ingesta de agua o alimentos que contengan radón.

El potasio es un elemento esencial para la vida, que se incorpora al organismo a través de la alimentación. Un 0.0117 % del potasio natural es  $^{40}\text{K}$ , emisor de radiación beta y gamma con una vida media de mil millones de años. Otros núcleos radiactivos que son ingeridos en los alimentos son el  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  y el  $^{210}\text{Po}$ .

Entre los elementos que ingresan a nuestro cuerpo por medio de las vías respiratorias se encuentra el Uranio, el Torio y los isótopos  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ . Se han hecho estudios en los cuales se ha demostrado que en los pulmones de personas que fuman la concentración de estos radionucleidos es aproximadamente mayor en 50 % a la de las personas que no fuman.

Un posible riesgo que se corre al estar en contacto con las emanaciones de radón es principalmente la de adquirir cáncer de pulmón. Debido a su falta de reactividad, el Rn que se inhala y no se une químicamente a los tejidos corporales, aunque es soluble en estos tejidos y en la grasa pero las cantidades resultantes son despreciables en comparación con las que recibe el sistema respiratorio de los productos de su decaimiento, se depositan en el tracto respiratorio. Al inhalarse, los productos de decaimiento del Rn emiten partículas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  pues debido a sus cortas vidas medias, la mayoría de los átomos depositados (excepto el  $^{212}\text{Pb}$ ) decaen en las células del epitelio de los alveolos bronquiales, dando lugar a tener una fuente radiactiva alojada en esta zona. Estas radiaciones pueden dañar el ADN de una célula epitelial iniciando así un posible cáncer pulmonar.

El riesgo de desarrollar este tipo de cáncer, se incrementa desde luego en casas o edificios con altos niveles de Rn, por lo que se considera muy importante conocer el nivel del radón intramuros en los ambientes laborales así como en casas habitación.

La agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), Considera que los niveles aceptables de exposición a  $^{222}\text{Rn}$  intramuros es de 4 pCi/L  $\approx$  148 Bq/m<sup>3</sup>

## 1.7. El Gas Radón en el Interior de los Edificios

Nuestras viviendas están sobre el suelo, esto las hace vulnerables a la penetración del gas radón. El hecho de que, pasemos la mayor parte del tiempo (entre un 80 y un 90 %) en interiores [16] respirando aire con radón y descendientes, hace especialmente interesante el estudio de los valores de concentración de este gas que podamos encontrar dentro de nuestras casas y puestos de trabajo, así como de las mejores formas de medir y cuantificar estos valores. Tratar de comprender el comportamiento del gas Rn en el interior de un edificio no es trivial. Existe una gran cantidad de factores que intervienen en el mismo. Desde el tipo de edificación, el uso de la misma y los hábitos de ventilación del personal que la habita, hasta la calidad de los materiales empleados en su construcción. El gas Rn presente en el suelo, es el principal foco de la radiactividad existente en el interior de las edificaciones, a las cuales entra principalmente a través de grietas de los cimientos, las paredes, huecos pared/cañería, e incluso por las propias cañerías de los cuartos de baño. Figura 1.10.



Figura 1.10: Posibles entradas de gas  $^{222}\text{Rn}$  en el interior de una edificación [25]

Una vivienda no es un sistema cerrado. Existe un intercambio continuo de aire con el exterior. Según un modelo sencillo [16], suponiendo una construcción apoyada directamente sobre el suelo, sin divisiones interiores, donde la única superficie emisora de radón es el suelo o el área situada alrededor de la vivienda, se podría aproximar la concentración interior mediante la expresión:

$$C_{int} = \frac{\Theta_o + \lambda_v C_{ext}}{\lambda + \lambda_v} \quad (1.23)$$



Donde  $\Theta_o$  es la exhalación del terreno,  $h_i$  la altura interior de la vivienda,  $\lambda$  la constante de desintegración,  $\lambda_v$  la velocidad de intercambio de aire con el exterior y  $C_{ext}$  la concentración de radón en el exterior.

Resumiendo, aún considerando las limitaciones del modelo, de la Ecuación 1.23 se deduce que si  $\lambda_v \rightarrow h_i$ ,  $C_{int} \approx C_{ext}$ , es decir, una correcta ventilación es la mejor herramienta para luchar contra la acumulación de radón en el aire del interior de un edificio. Después de la velocidad de intercambio de aire con el exterior, el segundo parámetro más importante de la Ecuación 1.23 es la exhalación del terreno ( $\Theta_o$ ). Una ojeada al mapa geológico de la zona y una correcta interpretación de dichos datos, pueden dar una buena idea de donde es más probable encontrar niveles altos de concentración de gas radón en el interior de los edificios. Debido a lo básico de este modelo, no se ha considerado que al parámetro de exhalación pueden contribuir otros factores al margen de la emisión propia del suelo del edificio. Pueden existir otros focos de radón que participan, a menor escala, en el aumento de la concentración de este gas en la atmósfera del interior de los edificios.

Otra fuente de Rn, puede ser el agua corriente. El agua puede contener Rn disuelto en altas cantidades cuando proviene de acuíferos subterráneos y no ha sido tratada convenientemente. Este Rn es liberado a la atmósfera a temperatura ambiente. Obviando el hecho de que el Rn puede ser ingerido con el agua, la contribución a la actividad de este gas en el aire, puede llegar a ser una importante fuente de contaminación [29] en casas particulares y en edificios laborales. [10, 16]

# Capítulo 2

## Metodología

### 2.1. Detectores de Partículas $\alpha$ del Radón

Del universo de los detectores de radiación, para nuestro trabajo nos interesan sólo aquellos que sirvan para detectar partículas  $\alpha$ .

Para determinar estas partículas se pueden utilizar los detectores de ionización de gas, de centelleo, semiconductores, entre otros. Pero para la medición de las partículas  $\alpha$  del radón intramuros, la detección de trazas nucleares en sólidos (DTNS), como veremos: es el método más recomendable por su simplicidad, bajo costo al producir el dispositivo de detección, especialmente para mediciones masivas (mayor a 30 lugares), su facilidad de distribución y sobre todo de fácil acceso comercial.

La mayoría de los DTNS para bajas energías son nitratos, acetatos de celulosa o policarbonatos. Estos últimos se utilizan en el presente trabajo. Los DTNS tienen la ventaja que no son afectados por la humedad, bajas temperaturas, calentamiento moderado y luz. Son muy adecuados para mediciones integrales a largo plazo de gas Rn como muestreos a gran escala. [13]

Este método de detección se basa en el análisis de las huellas o trazas dejadas en el material por radiación ionizante, las cuales pueden permanecer en forma latente en el material hasta por millones de años. Las trazas se hacen visibles mediante un tratamiento denominado grabado químico: en el cual se tiene un ataque preferencial del material de la zona donde interaccionó la radiación ionizante, formandose la traza grabada que es observable a simple vista o con microscopio óptico. El proceso de medición se puede resumir en tres pasos:

- Exposición a la radiación ionizante.
- Revelado Químico de la traza.
- Caracterización y lectura de la traza.

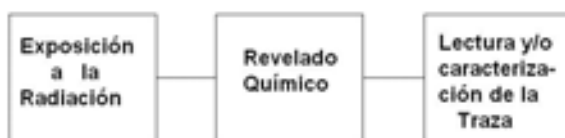


Figura 2.1: Diagrama a cuadros del método de DTNS [13]

En la Figura 2.1 se muestran los pasos de este proceso. Los DTNS son sensibles a partículas  $\alpha$ , protones, iones pesados. No registran partículas  $\beta$ , rayos  $\gamma$  o  $X$  y son excelentes para detectar partículas  $\alpha$  en campos mixtos en los que se encuentran partículas  $\alpha$ , rayos  $\gamma$  y neutrones.

## 2.2. Métodos Dinámicos y Pasivos

La medición puede ser “pasiva” la cual necesita de largos períodos de tiempo para hacer una buena evaluación (de 1 a 3 meses o más) o bien puede ser “dinámica” es decir que se realizan las evaluaciones del lugar en minutos o cuando más en horas. Los métodos dinámicos **no** son los más recomendables para realizar mediciones a largo plazo y especialmente si se colocarán en más de 30 lugares a la vez. Cada uno de estos métodos presenta características diferentes de la medición, aún y cuando se estén realizando en el mismo lugar. El medidor dinámico nos dará la medición instantánea del nivel de  $R_n$ , en las condiciones de ese momento y estas pueden ser la máxima, la mínima o la más probable pues hay que recordar que la concentración de radón también depende de la estación del año. [11] En cambio la medición con detectores pasivos, nos indicará el valor promedio durante el periodo de medición, lo cual es más representativo para el estudio del riesgo radiológico.

## 2.3. Trazas Nucleares en Sólidos

“El paso de partículas nucleares y de iones pesados a través de la mayoría de los semiconductores sólidos, crea patrones finos de daño intenso, en la escala atómica”. Siendo éste el origen de lo que llamaremos **traza nuclear en sólidos** [13]

Las trazas producidas por las partículas son huellas estables formadas por “centros de tensión” (desplazamientos de electrones y/o rompimiento de cadenas poliméricas) [15] que responden al ataque químico. También se ha demostrado que no existe formación de trazas en materiales de alta conductividad.

## 2.4. Depósito de energía en sólidos

Si un átomo de número atómico ( $Z$ ), se mueve a través de un sólido, éste se convertirá rápidamente en ión, al perder algunos o todos sus electrones originales. Así este nuevo ión adquirirá una carga neta positiva ( $Z^*$ ). [17] En forma empírica se establece la siguiente expresión:

$$Z^* = Z[1 - \exp(-130\beta/Z^{2/3})] \quad (2.1)$$

donde:

$\beta$ = Velocidad  $\nu$  del ión respecto a la velocidad de la luz.

$Z^*$ = Carga del ión adquirida.

$Z$ = número atómico del átomo original.

Al moverse el ión en el sólido se pueden producir colisiones básicamente de dos tipos dependiendo de la velocidad. Para altas velocidades donde  $Z^* \cong Z$ ; la interacción dominante es “fuerza eléctrica” entre el ión y los electrones del átomo del sólido. El efecto de esta fuerza puede ser: (1) la excitación de los electrones a niveles de energía mayores, o (2) la pérdida o expulsión de ellos. En polímeros, esta sobre excitación puede iniciar un rompimiento de cadenas moleculares largas y producir radicales libres [7] En cualquier otro sólido, el proceso de ionización producirá “centros de tensión”. A los electrones desplazados se les llama “rayos delta”, pudiéndose a su vez producir estos rayos delta, excitación y ionización, si tienen la suficiente energía.

La ionización y excitación primaria ocurrirá en las vecindades de la trayectoria del ión, produciéndose también una ionización y excitación secundaria a una distancia mayor del centro de la traza. Para el caso más simple, la velocidad del ión se

considerará mucho más grande que la velocidad del electrón original; de esta forma el electrón se pensará en reposo originalmente y la energía cedida al electrón, inversamente proporcional al cuadrado del parámetro de impacto  $b$ , ( $b =$  distancia entre el electrón desplazado y la trayectoria del ión). Por lo que la mayoría de los electrones desplazados se moverán sólo distancias mayores que corresponderán al límite de la energía cinética del electrón de  $2mv^2/(1-\beta^2)$ , donde  $m$  es la masa del electrón. El segundo caso es para iones que al bajar su velocidad a través del sólido ésta es comparable o menor con la velocidad de los electrones orbitales, donde las “colisiones atómicas” se consideran dominantes respecto a la pérdida de energía misma. Lindhard y Scharff(1961), Lindhard y Thomsen (1962) [23,24], estiman que el daño producido por la colisión atómica consiste en el desplazamiento del átomo, teniéndose como resultado vacancias. Así una pregunta importante se debe resolver para el cálculo del daño a través de la trayectoria de la partícula en un cierto material es: el daño resulta de la ionización primaria y excitación debida a la partícula cargada o por el efecto secundario de los rayos delta. Para resolver esta pregunta, se deben considerar separadamente la respuesta en sólidos inorgánicos y la respuesta en polímeros.

## 2.5. Efectos en polímeros

Para el caso de polímeros, el efecto de los rayos delta no puede ser despreciado. Algunos trabajos [6,8] muestran que para fragmentos de fisión en policarbonato, la huella se extiende a  $96 \text{ \AA}$  y de acuerdo a los cálculos de Katz y Kobetich [5,14,18] se puede tener un daño en polímeros hasta una distancia de  $200 \text{ \AA}$ , por lo que se debe considerar tanto la radiación primaria como la secundaria para la formación de la traza. También es importante el considerar la excitación producida, que puede iniciar un rompimiento en la cadena polimérica, reduciendo el peso molecular [7], siendo conocido que la razón de grabado químico en un polímero aumenta cuando se disminuye el promedio del peso molecular.

## 2.6. Mecanismos en la producción de las trazas

Como se mencionó anteriormente, es claro que hay que distribuir los mecanismos para la formación de trazas ya sea en polímeros o bien en sólidos inorgánicos. En los segundos se puede despreciar el efecto de los rayos delta, simplificando el entendimiento del proceso. Un modelo para entender la formación de huellas nucleares

en sólidos, considerando como efecto fundamental un desplazamiento atómico en el material (usando como detector), es el llamado “punta iónica” [15]. Este se refiere fundamentalmente a la formación de una orientación inestable electrostática a lo largo del patrón de ionización de la partícula produciéndose una repulsión de los iones, desde sus sitios originales hacia sus posiciones intersticiales. Este modelo presenta básicamente dos restricciones referentes a la concentración y a la movilidad de los acarreadores, caracterizándose la formación de trazas en semiconductores de baja conductividad o en aislantes. El primer requisito se refiere al suministro de electrones en la vecindad de la trayectoria ionizada por la partícula. Pues si electrones de otras regiones reemplazaran en cantidad suficiente los que fueron desplazados antes que se ionice el átomo, no habrá formación de traza. El segundo requisito será la movilidad de las vacancias o agujeros, debido a que la región ionizada a lo largo de la traza, es fundamentalmente una región de alta concentración de vacancias, pudiéndose mover éstas en cualquier dirección, evitando así la formación de las trazas. De todos los modelos teóricos que se han propuesto hasta el momento, el modelo de ionización primaria y excitación (punta de explosión iónica) es el más adecuado para los detectores inorgánicos. Para los detectores plásticos, algunos otros estudios deberán ser hechos para entender el proceso de formación de trazas. La tabla 2.1 muestra una relación de los modelos de formación de trazas y su comentario.

Modelos	Comentario
Punta iónica	No aceptable
Colisión atómica	No se aplica en lo general, sólo para E=1 KeV/amu
Pérdida total de energía	No aceptable
Energía depositada en la producción de rayos delta	No aceptable para minerales
Pérdida total de energía en el centro de la traza	Falta información para modelo general
Pérdida de energía restringida	Convincente, pero no válida experimentalmente
Ionización primaria y excitación	Válida para inorgánicos. Faltan consideraciones para efectos de rayos delta

Tabla 2.1: Relación de modelos existentes [13]

## 2.7. Formación geométrica de la traza grabada

Cuando se considera que la radiación ionizante logra dejar una huella, de su paso en el interior del sólido, por alguno de los efectos descritos anteriormente. La formación de la traza mediante el grabado químico consiste en la disolución química del material, a lo largo de la huella de la partícula ( $V_t$ ) y una disolución a ataque general de la superficie removida del material ( $V_g$ ). En la Figura 2.2, se muestran los parámetros, para el caso de que  $V_t$  y  $V_g$  sean constantes.

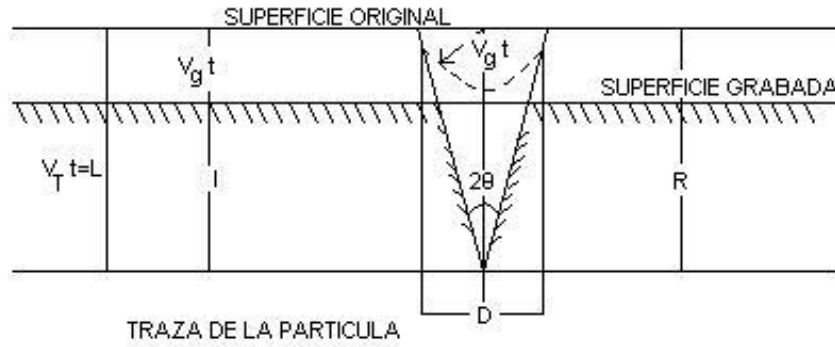


Figura 2.2: Geometría de la traza con  $V_t$  y  $V_g$  constantes. [13]

Y como se ve, el ataque es preferencial en la trayectoria de la partícula; ( $D$ ) es el diámetro de la traza medido en la superficie, ( $L$ ) es la longitud de la traza grabada, ( $R$ ) es el alcance de la partícula en el material. Así ( $L$ ) estará dada por  $L = (V_t - V_g)t$ , donde  $t$  es el tiempo de grabado químico. Se forma un ángulo entre el eje de la trayectoria y la pared del cono, de tal forma:

$$\text{Sen}\theta = \frac{D/2}{[(D/2)^2 + (L)^2]^{1/2}} \quad (2.2)$$

Quedando los parámetros de la formación de la traza en función de los parámetros medibles en la propia traza:

$$V_{gt} = (D/2)(D/2L) = ((D/2)^2 + (L^2/L))^{1/2} \quad (2.3)$$

$$V_{gt} = (D/2)(\text{tg}\theta + \text{sec}\theta) \quad (2.4)$$

$$V_t t = ((D/2)^2 L^2)^{1/2} * (D/2L + ((D/2)^2 + L^2/L)) \quad (2.5)$$

$$V_t t = D c \sec \theta (tg \theta + \sec \theta) / 2 \quad (2.6)$$

Siendo estos los cálculos para los parámetros de desgaste, de diámetro y de longitud de la traza, pero como se mencionó esto es válido sólo para el caso de que  $V_g$  y  $V_t$  son constantes y el material sea isotrópico: condiciones que por lo general no se cumplen ni en los materiales usados como detectores, ni en el proceso del revelado químico de la traza.

## 2.8. Selección del material

A principios de la década de los 80's se descubre que el CR-39 empleado en óptica y en la industria aeronáutica es el "gran" detector de partículas  $\alpha$  con muy amplia respuesta a la energía entre los 0.3 y 13 MeV. Así este material se convirtió en el más usado de los detectores. En la Figura 2.3 se muestra la fórmula química del CR-39 en general los polímeros desplazaron a los minerales como detectores.

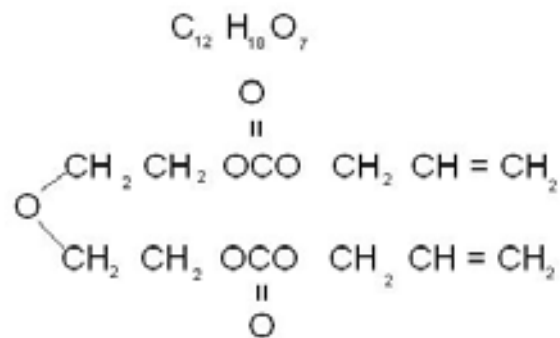


Figura 2.3: Fórmula química del CR-39

Se ha seleccionado el CR-39 de la compañía Landauer Lantrack® por considerar (mediante la experiencia dentro del IFUNAM), que es el material que satisface mejor los requisitos de uniformidad en espesor, reproducibilidad de respuesta, fácil manejo, bajo fondo de trazas, alta sensibilidad. El CR-39 de  $600\mu$  de espesor, es rígido y de fácil manipulación. El fabricante hace placas del CR-39 y luego las corta mediante procedimiento laser, en piezas de  $1.9 \pm 0.005 \times 1.85 \pm 0.005$  cm (Figura 2.4) y a cada detector lo marca con un número consecutivo para su identificación.



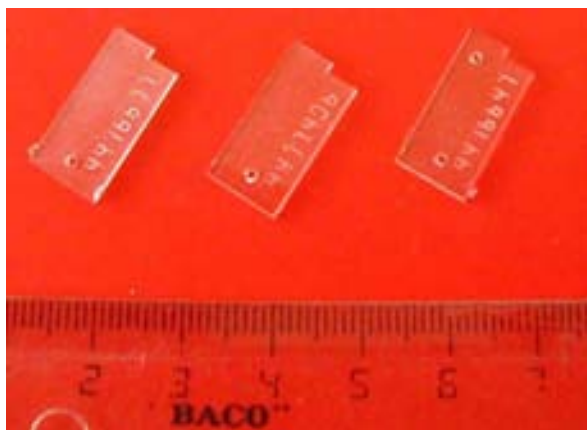


Figura 2.4: Detector CR-39

También se seleccionó un vaso de plástico comercial, para estandarizar el volumen de gases alrededor del detector. El vaso tiene un volumen de 330ml. Dentro de este vaso se coloca el detector CR-39, en el centro del volumen de medición Figura 2.5a). Al mismo tiempo se coloca al vaso dentro de una bolsa. En este diseño mostrado en la Figura 2.5b) se utilizó el material que se ocupa como bolsas de basura por su buena permeabilidad al radón además de su fácil adquisición y bajo costo.

El material de esta bolsa debe de cumplir con la característica de que debe ser permeable al Rn pero impermeable a otro tipo de polvos o aerosoles, asegurándonos así que sólo el gas Rn pueda penetrar al vaso. El vaso completo de monitoreo se muestra en la Figura 2.5 tiene un costo aproximado de \$10 M.N (costo aproximado para el 2007), esto es para la aplicación masiva como en nuestro caso por eso es muy atractivo comparado con otros métodos. [9]

### 2.8.1. Exposición del detector a la radiación ionizante

La irradiación del detector consiste en exponer el material detector a la radiación ionizante, que en nuestro caso, es la radiación natural que el gas Rn y su progenie proporcionan en los ambientes laborales. Al exponer el material detector a la radiación se “crea” la traza nuclear en el material y permanece latente por cientos o miles de años, hasta que sea revelada mediante un ataque químico, como se dijo anteriormente.

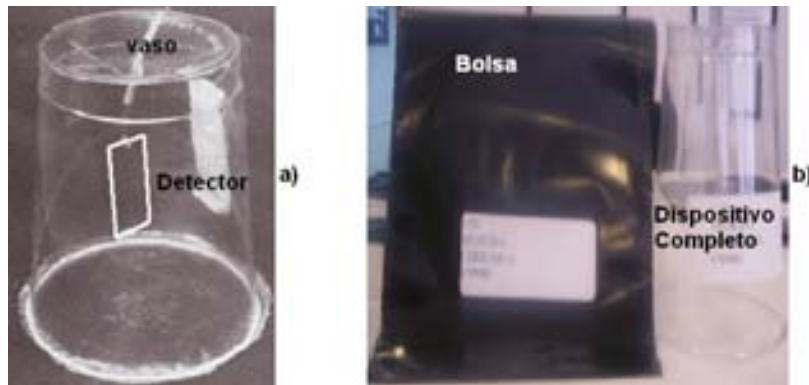


Figura 2.5: a) Vaso con detector CR-39. b)Dispositivo Completo

### 2.8.2. Método de Grabado

Después de ser expuesto el detector a la radiación ionizante, el material deberá ser sometido a un ataque químico de desgaste superficial, presentándose un ataque preferencial en las zonas donde incidió la radiación ionizante, formándose un “cono” al cual se le llama **traza grabada**, a lo largo de toda la trayectoria de la partícula incidente.

Los parámetros básicos en este proceso de revelado son: características del material detector, tipo de solución y concentración química, temperatura de la solución de grabado y tiempo de permanencia dentro de la solución. A este proceso se le llama grabado químico (GQ).

### 2.8.3. Caracterización y lectura de la Traza

Después del revelado químico, se obtiene una traza o huella de la radiación recibida, a nivel microscópico entre  $10$  y  $100\mu\text{m}$ . que será leída y caracterizada. El procedimiento más directo es mediante el uso de un microscopio óptico. De esta manera contamos el número de trazas grabadas por unidad de área, este número multiplicado por el factor de eficiencia, nos dará la relación de partículas incidentes. El tamaño del diámetro de la traza, medido en la superficie del material, nos indicará la energía de la partícula. Figura 2.6

En la Figura 2.6 vemos diferentes formas en las trazas: en la Figura 2.6a) podemos identificar pocas trazas/área podemos distinguir claramente su forma casi circular

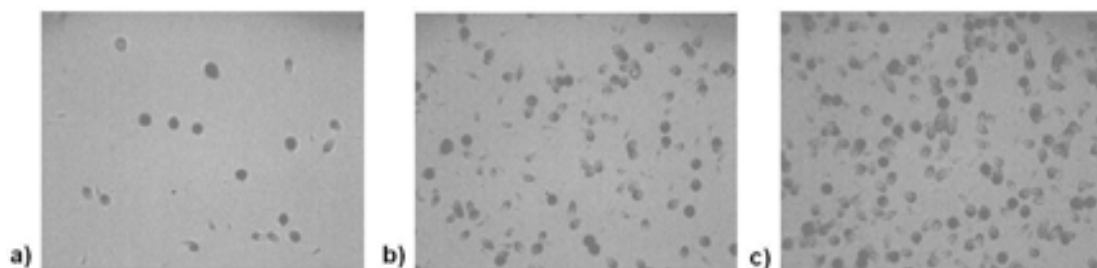


Figura 2.6: Caracterización de la traza

(partículas perpendiculares), que para nuestro trabajo son las que vamos a contar y el resto no lo tomaremos en cuenta.

Para la Figura 2.6b) podemos distinguir trazas con distintas formas incluyendo las circulares y en el caso de la Figura 2.6c) son tantas las trazas que algunas se podrían ver como encimadas, sin embargo nuevamente sólo tomaremos en cuenta las completamente circulares, para esto es muy importante que el microscopio se encuentre en foco todo el tiempo pues de lo contrario nos daría una lectura errónea.

En la exposición del detector a la radiación el ángulo de incidencia en el material es muy importante, pues para ciertos ángulos el detector es ciego [12, 20] y a un más para una exposición de incidencia aleatoria, además de las zonas ciegas, se tendrán zonas para ángulos de incidencia de más de  $45^\circ$ , donde el revelado de la traza no se inicia en la superficie original del material sino a algunas micras de las capas inferiores, esto es debido, fundamentalmente a que la energía necesaria para producir una traza latente, se da más allá de la superficie del material. Este efecto también se puede deber a la isotropía del material. Así estas trazas en el proceso de grabado químico surgirán a diferentes tiempos, complicando el proceso de conteo y análisis.

#### 2.8.4. Calibración, Fondo y Testigos

El método de DTNS es un método por comparación, por lo que se requiere un proceso de calibración en un campo conocido y certificado. Se puede usar una cámara de radón (primaria) para hacer la calibración y posteriormente hacer evaluaciones de verificación con cámaras secundarias, como referencia se tomaron los valores obtenidos (factor de calibración) en el Oak Ridge, EUA y posteriormente se verifican estos

valores en la cámara del Instituto de Física de la UNAM. Esto se hace cada vez que se tomaran detectores de una hoja nueva de CR-39 (por cada hoja del CR-39 se tienen 369 detectores). En la Figura 2.7 se muestra la cámara de referencia para radón del laboratorio de Oak Ridge, EUA (foto:cortesía del Laboratorio de Oak Ridge)



Figura 2.7: Laboratorio de Oak Ridge, USA.

Para obtener el valor del **fondo** del material (número de trazas/ $cm^2$ , que contiene un material nuevo, traído de fábrica), se toman 15 detectores de cada una de las placas del CR-39 que se van a utilizar, en 3 grupos de 5 para exponerlos en los siguientes ambientes:

- 5 de los detectores se ponen a grabar químicamente y se cuenta el número de trazas encontradas por  $cm^2$ . En general para el material que estamos usando, debemos tener entre 10 y 22 trazas/ $cm^2$ , entonces si en el conteo obtenido esta dentro de este orden, se procede a preparar los dispositivos de medición, utilizando las mismas hojas del CR-39.

- 
- Otros 5 detectores se colocan, cada uno en un dispositivo (monitor de radón, IFUNAM) y sin quitarles la película protectora, se guardarán como testigos, para ser grabados y leídos con el resto de los detectores, a su retorno al laboratorio.
  - Finalmente los otros 5 detectores, se les quita el protector y cada uno se coloca en un monitor (dispositivo), colgándose en una zona específica y conocida dentro del laboratorio que está monitoreada las 24 horas por sistemas dinámicos, permaneciendo en ésta el mismo tiempo que los dispositivos que están en las oficinas estudiadas, estos dispositivos se graban químicamente con los expuestos en campo, sirviendo como testigos de referencia para la calibración.

# Capítulo 3

## Instrumentación

### 3.1. Grabado Químico

Para el grabado químico se requiere de un baño de agua a temperatura controlada más menos un grado de desviación de la temperatura central, como se muestra en la Tabla 3.1 es decir de  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , para esto se pone en un sistema de baño maría como lo muestra la Figura 3.1.

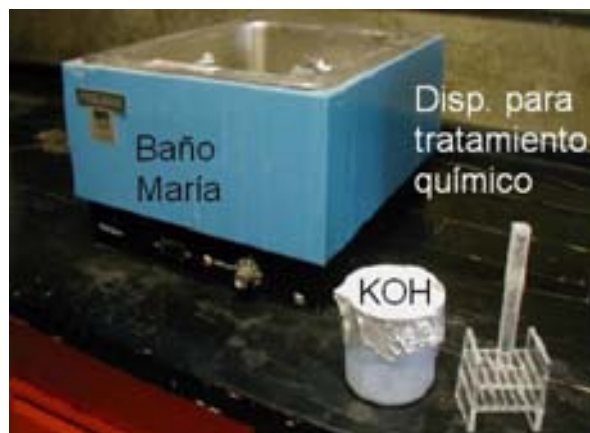


Figura 3.1: Grabado Químico para el CR-39 con KOH a  $60^{\circ}\text{C}$

Para mantener el control de temperaturas se introducen en el baño maría dos vasos de precipitado, uno de vidrio que contenga sólo agua destilada en donde se monitorea constantemente la temperatura del baño y el segundo es de plástico (nalgeno)

que nos garantiza no tener contaminación alguna, de plomo para evitar que los detectores plásticos adquieran durante este paso información no deseada, (Figura 3.1). Los vasos de precipitado y la tina de calentamiento se cubren con papel aluminio para minimizar la evaporación del agua y del solvente.

Grabado químico	
Solución para el grabado	KOH
Concentración	6.25M
Temperatura	$60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
Tiempo de grabado	18 horas

Tabla 3.1: Características del grabado para el método de TNS [13]

Finalmente en el recipiente con la solución hidróxido de potasio (KOH) a concentración de 6.25 molar se sumergen los detectores que se encuentran colocados en el dispositivo para tratamiento químico (Figura 3.1). Habiéndose seleccionado un tiempo de 18 horas para este proceso, en base a los protocolos establecidos. [13] (Tabla 3.1)

## 3.2. Sistema de Conteo

A través de los años y con las nuevas tecnologías, se han desarrollado una gran diversidad de métodos de conteo, siendo hasta hace muy poco un cuello de botella para la utilización de los DTNS. El sistema de conteo se puede resolver simplemente con un microscopio óptico o con una PC y su tarjeta digitalizadora adecuada, lo que hace competitivo el método de Trazas en Sólidos con respecto a otros métodos electrónicos de medición de radiación. Para realizar el conteo del número de trazas registradas en nuestro plástico detector tenemos tres opciones:

- Microscopio óptico(Manual) Figura 3.2
- Microscopio óptico más cámara de video CCD, más monitor de video (Manual)
- Microscopio óptico más cámara de video CCD, más PC con tarjeta digitalizadora, más software, más sistema DIAS (Automático)??



Figura 3.2: Lectura manual de la traza

### 3.2.1. Sistema de Conteo Manual

Después del revelado químico, se obtiene una traza o huella de la radiación recibida, a nivel microscópico entre  $10$  y  $100\mu\text{m}$  que deberá ser leída y caracterizada. El procedimiento más directo es mediante el uso del microscopio óptico. De esta forma si contamos el número de trazas grabadas por unidad de área, este número nos dará una relación del número de partículas incidentes.

La Figura 3.3 b) muestra el sistema de conteo utilizado para este trabajo. Por ser ésta la primera evaluación de radón en oficinas, se decidió usar el **método manual** que consiste en un microscopio óptico, su fuente de luz, la cámara de video y un monitor. La amplificación en el microscopio fue de  $10X$  y haciendo uso del monitor se contaron las trazas formadas por unidad de área.

El método manual tiene la ventaja que se pueden discriminar fácilmente (a ojo humano) las trazas formadas, no circulares, así como cualquier otra imperfección del detector, o bien las tan comunes rasgaduras de cada detector. Figura 3.3 a)



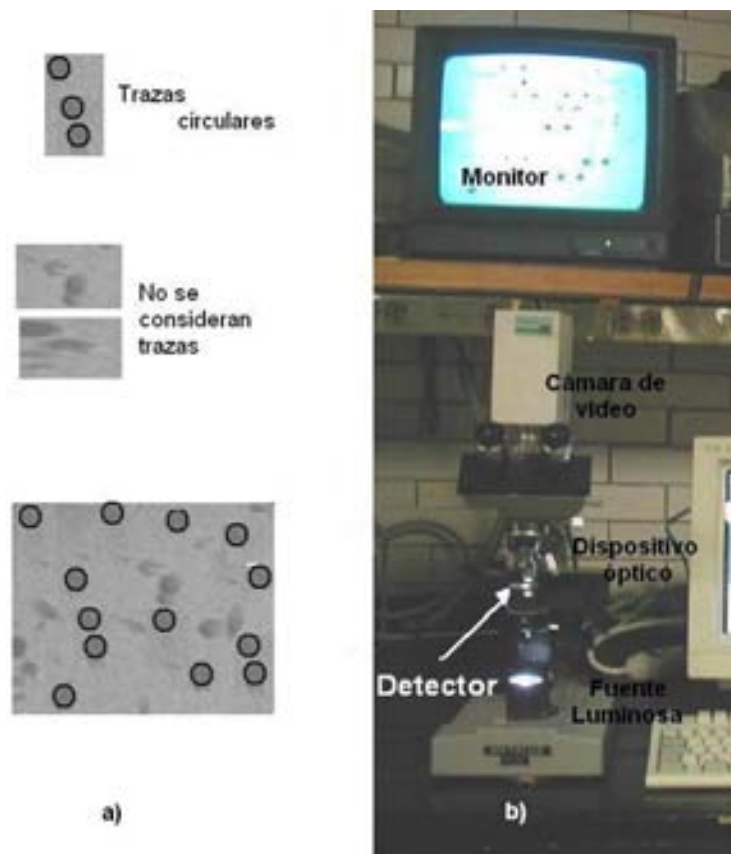


Figura 3.3: a) Diferentes Trazas encontradas en el detector a discriminar b) Dispositivo para el conteo de trazas usada para nuestro trabajo.

El detector tiene una área total de  $1.67\text{cm}^2 \pm 0.005$  ( $1.85 \pm 0.005\text{ cm} \times 0.9 \pm 0.005\text{ cm}$ ) y para el conteo de las trazas se dividió al detector como se muestra en la figura 3.4 donde cada una de estas áreas se les llamó **campos** y donde cada uno tiene las dimensiones del ocular óptico del microscopio de aumento de 10X las dimensiones son:  $0.168 \pm 0.005\text{ cm}$  de diámetro del ocular por  $1.85 \pm 0.005\text{ cm}$  que es el largo del detector es decir cada campo tiene una área de  $0.3108\text{cm}^2$ , por lo que de acuerdo con nuestra área total el detector se puede dividir en 5 campos sin embargo tenemos que despreciar las orillas pues es ahí donde más ruido encontramos por lo que finalmente tomamos en cuenta las tres zonas centrales como se muestra en la Figura 3.4, leyendo sólo  $0.93\text{cm}^2$  del área, que representa el 60% del área total es decir se leyeron tres quintas partes del detector.



Figura 3.4: Detector dividido en 5 campos para su lectura manual.

### 3.3. Sistema de Conteo Automático

Hay otras maneras de instrumentación para detectores, automatizando el procedimiento de lectura. Como se muestra en la Figura 4.2 el microscopio se conecta a una PC la cual se acopla a través de una tarjeta con la cámara de video y una lente conectada a un monitor de video. La computadora cuenta con el sistema de análisis digital de imágenes (DIAS), al final los datos son analizados con una hoja de cálculo. Dado que sólo queríamos tener la densidad y no el diámetro de las trazas, esta no se utilizó el sistema DIAS

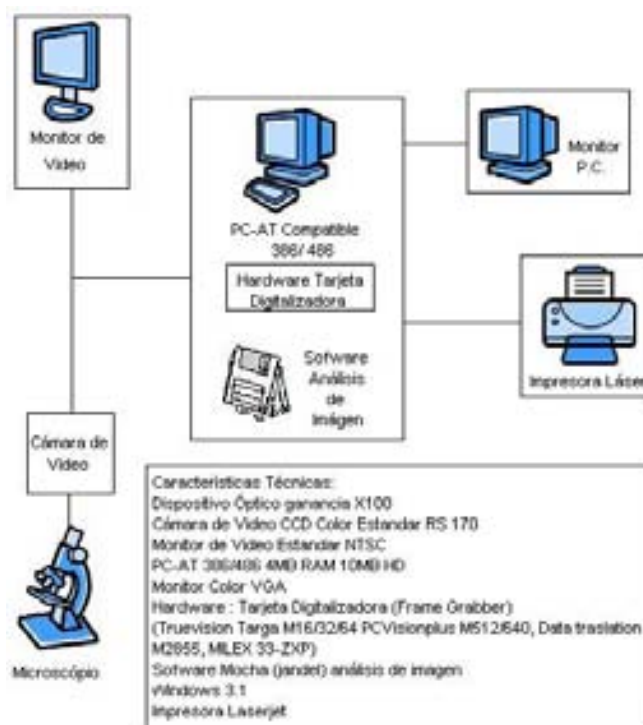


Figura 3.5: Diagrama del Sistema de Conteo y análisis mediante digitalización de imágenes [13]

### 3.4. Estadística y Área de Conteo

En esta sección se presenta el manejo que se hizo de los datos para obtener los resultados. Dado que el número de trazas formadas en el detector, depende directamente del número de impactos de las partículas alfa del radón y de sus hijos (evento estocástico), es muy importante hacer un estudio estadístico de esta información por lo que el valor de la media aritmética ( $\bar{x}$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ) tendrán que calcularse para cada detector de acuerdo al área de conteo. Para este análisis se usó la distribución normal.

Como ya se menciona en una sección anterior el área total del detector es de  $1.67\text{cm}^2 \pm 0.005$  por lo que si dividimos entre las dimensiones de cada campo  $0.3108\text{cm}^2$  nos da un total de 5 campos por leer sin embargo por ser las orillas las que podrían

contener el mayor ruido y por las dimensiones del número de detectores a analizar fue necesario buscar una manera de optimizar el tiempo que se requiere para la lectura de los datos, entonces para tener una buena estadística se optimizó el área de conteo, analizando el 60 % del total del área.

Para comprobar lo dicho anteriormente se realizó el experimento de irradiar 4 detectores en la cámara de calibración del IFUNAM y de los cuales se leyó de la siguiente manera:

- Se contó el 100 % del área.
- Se contó el 60 % del área.

Obteniendo los resultados que se muestran en la siguiente Tabla 3.2

ITEM	Leyendo el 60 % del área		Leyendo el 100 % del área	
	Trazas/cm <sup>2</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Trazas/cm <sup>2</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
7873132	45 ±3	10	50 ±3	12
7873133	46 ±3	10	52 ±3	12
7873165	60 ±2	13	63 ±2	14
7873166	58 ±2	13	65 ±2	15

Tabla 3.2: Tabla de Resultados para la estimación del área óptima de lectura para el detector CR-39

De los datos anteriores podemos decir que es suficiente con leer el 60 % del área para obtener una buena estadística, pues la diferencia entre una lectura y otra es a lo más del 10 %.

Como ya se mencionó el detector se dividió en tres campos donde cada uno tiene las dimensiones del ocular óptico y de los datos obtenidos por campo se hace un promedio aritmético donde la desviación estándar es la incertidumbre asociada.

Ocupando lo anterior y mediante la siguiente ecuación convertimos los datos obtenidos de trazas/cm<sup>2</sup> a Bq/m<sup>3</sup>

$$\frac{(\bar{x})(22,5)}{100} \frac{[trz/cm^2][Bq/m^3]}{[trz/cm^2]} = \left[\frac{Bq}{m^3}\right] \quad (3.1)$$

Por lo que tuvimos para cada detector un valor en términos de Bq/m<sup>3</sup> que son los datos que presentamos en las graficas del capítulo siguiente.

### 3.4.1. Organización de los datos

El fabricante en cada uno de los plásticos marca un número consecutivo (ITEM), el cual nos permite organizar y localizar a los detectores en cualquier momento.

La información obtenida se fue almacenando en una base de datos usando una hoja de calculo (Excel), ordenada de acuerdo a cada zona y tomando en cuenta el ITEM del detector, haciendo las observaciones pertinentes de lo que sucedia con cada uno de los detectores durante los trayectos de transporte, exposición y almacenaje como se muestra en la Figura 3.6.

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA IV - SURESTE										
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	PLAZA, URBAN Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	Observ	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Promedio	transp(%)	Actualidad (Bq/m <sup>3</sup> )
1	346	TABASCO	4710918	vaca rota	140	145	147	144.67	145	33
			4710919		140	148	154	143.33	151	34
2	351	TABASCO	4710920	puerto	128	123	126	125.67	120	28
			4710921		124	126	132	127.33	127	29
3	416	TABASCO	4710922	bolsa rota	87	85	82	88.33	88	20
			4710923		79	81	85	81.67	82	18

Figura 3.6: Tabla Muestra de la forma en que se organizaron los datos.

# Capítulo 4

## Resultados

### 4.1. Estrategia de medición

Es importante distinguir las diferencias que se encuentran entre los ambientes laborales y los de un hogar, todo en términos de la estructura de la construcción, la ventilación y las características ocupacionales de cada uno, entre otras cosas. Las características de construcción a considerar son: los materiales de construcción, el número y medida de los cuartos; por ejemplo las dimensiones de un hogar de la cocina, sala, habitaciones, etc. son muy distintas de lo que encontramos en las oficinas con respecto a la sala de espera, las oficinas, las salas de junta etc. en donde son mas amplias en su mayoría. El sistema de ventilación también es muy diferente pues en los lugares de trabajo regularmente se tiene funcionando todo el tiempo el aire acondicionado y en un hogar regularmente su sistema de ventilación es a base de mantener las ventanas abiertas, lo que no siempre es posible ya que esto cambia con respecto a la época del año y a las costumbres de los que habitan el hogar, además de que en los lugares de trabajo regularmente el sistema de mantenimiento es mucho más efectivo que en un hogar con esto se puede garantizar que el sistema de ventilación o aire acondicionado esté funcionando de manera sistemática. También es importante la diferencia de los contenedores de almacenamiento del agua como se vio en el capítulo 1. [11]

La República Mexicana cuenta con una extensión de 1,967,183 Km<sup>2</sup> con gran diversidad de características geofísicas desde desiertos hasta selvas, sin embargo para la distribución y evaluación, se dividió el territorio nacional en 8 zonas. La Figura 4.1 muestra el área monitoriada que consta de la (I) Zona de Chihuahua (donde se encuentran minas de uranio), (II) Centro Norte, (III) Centro Sur, (IV) Sureste, (V)

Sur, (VI) Noreste, (VII) Norte y (VIII) Occidente, cada una de estas zonas presenta diferentes características geográficas y geofísicas, el clima, la altitud y los diferentes tipos de construcción en las oficinas laborales son también factores importantes que se tomaron en cuenta.

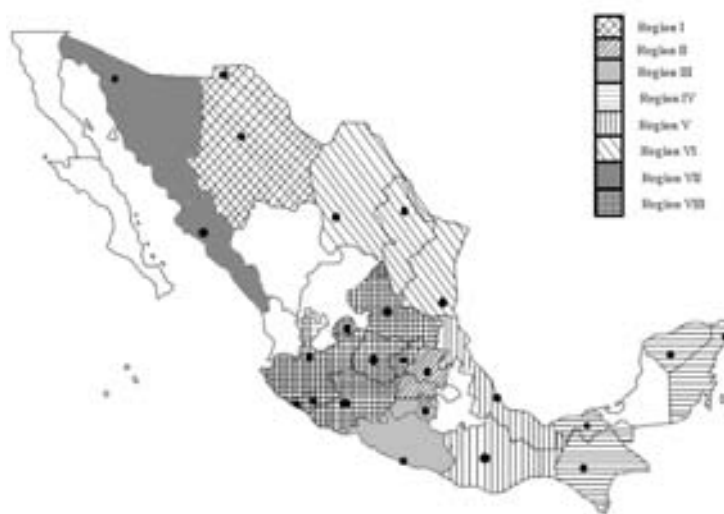


Figura 4.1: Distribución por zonas

#### 4.1.1. Selección de los lugares

Por cuestiones de logística solo se seleccionaron:

- Las capitales y ciudades importantes de los estados de la República.
- Las ciudades se seleccionaron también por su densidad de población, tomamos en cuenta ciudades que tuvieran más de 500 000 habitantes.
- De un universo de 1300 lugares se seleccionaron 288 (22%).
- En cada edificio se colocaron 2 detectores para comparar cada edificio.
- De cada ciudad consideramos los edificios que tuvieran una gran similitud en cuanto a la fecha de construcción, el volumen total ( $m^3$ ), así como en que los materiales de construcción fueran parecidos.

- En general se monitorearon 1 o 2 edificios por sitio, sólo en la región de Chihuahua se estudia una cantidad mayor de edificios debido a que se conoce la existencia de uranio en el subsuelo.
- El 22% de la población de México se concentra en el las ciudades del Valle de México, por lo que se decidió poner un mayor número de detectores en esta zonas. (Fig 4.2)

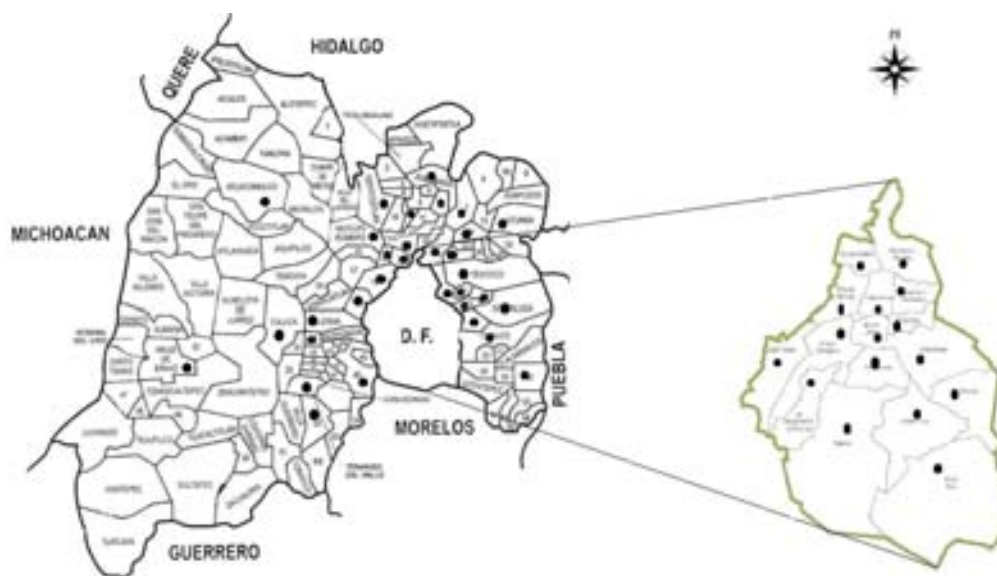


Figura 4.2: Distribución en la Zona Metropolitana

Para este primer monitoreo, se consideró solo un período de tres meses, el cual nos da un dato importante de los niveles de radón intramuros, sin embargo el proyecto total durará un año, cubriendo las cuatro estaciones primavera, verano, otoño e invierno, pues es conocido que las concentraciones de radón cambian en cada estación del año. [11]. Para este trabajo solo se analiza el primer trimestre de medición.

#### 4.1.2. Características de los lugares donde se colocaron los dispositivos

- Las oficinas que se escogieron para poner los dispositivos, tienen la misma arquitectura, antigüedad, tipos de materiales de construcción, esto con el obje-



tivo de minimizar las diferencias en las características de construcción en cada edificio, como se dijo anteriormente.

- Las zonas medidas, cuentan con aire acondicionado, estando operando 11 horas al día, siempre en horas de oficina de 8am a 7pm, 6 días a la semana.
- Finalmente la mayoría de las ciudades están a más de 2000 m sobre el nivel del mar.

## 4.2. Niveles de Radón Intramuros

En la tabla 4.1 se muestran los niveles de  $^{222}\text{Rn}$  encontrados en los locales medidos por ciudad. En la tercer columna se encuentra el valor promedio de las oficinas estudiadas, en la cuarta columna se presenta el se presenta valor máximo y en la quinta columna está su valor mínimo encontrado en las sucursales.

	Zona	Ciudad	Promedio por Ciudad Bq/m <sup>3</sup>	Valor mínimo Bq/m <sup>3</sup>	Valor máximo Bq/m <sup>3</sup>
I	Chihuahua	Chihuahua	62 ± 2	21	144
I	Chihuahua	Cd. Juárez	28 ± 4	Linf	69
II	Centro Norte	D. F.	22 ± 2	Linf	69
II	Centro Norte	Edo. de Méx	42 ± 2	Linf	112
II	Centro Norte	Hidalgo	55 ± 2	Linf	94
III	Centro Sur	D.F.	20 ± 3	Linf	56
III	Centro Sur	Edo. de Méx	26 ± 5	Linf	50
III	Centro Sur	Guerrero	44 ± 5	16	152
III	Centro Sur	Morelos	34 ± 3	17	53
IV	Sureste	Quintana Roo	107 ± 3	100	127
IV	Sureste	Tabasco	27 ± 6	18	33
IV	Sureste	Chiapas	34 ± 3	30	36
IV	Sureste	Yucatan	77 ± 3	64	92
V	Sur	Oaxaca	37 ± 4	23	55
V	Sur	Veracruz	30 ± 5	24	37
VI	Noreste	Nuevo león	42 ± 3	22	75
VI	Noreste	Coahuila	43 ± 3	35	55
VI	Noreste	Tamaulipas	42 ± 4	23	70
VII	Noroeste	Sinaloa	46 ± 5	38	56
VII	Noroeste	Sonora	74 ± 5	51	88
VIII	Occidente	Aguascalientes	60 ± 5	19	86
VIII	Occidente	Colima	41 ± 4	24	59
VIII	Occidente	Guanajuato	34 ± 5	16	63
VIII	Occidente	Jalisco	80 ± 5	23	196
VIII	Occidente	Michoacán	51 ± 3	17	83
VIII	Occidente	Sn Luis Potosí	60 ± 3	26	103
VIII	Occidente	Querétaro	54 ± 3	38	120
II,III		C.México	21 ± 3	Linf	69
II,III		E. México	40 ± 2	Linf	112

Linf: El límite inferior de detección es de 13Bq/m<sup>3</sup>.

Tabla 4.1: Promedio de niveles de <sup>222</sup>Rn por Ciudad

En la tabla 4.2 se muestran los niveles de  $^{222}\text{Rn}$  encontrados por zona de estudio.

	Zona	Promedio $\text{Bq}/\text{m}^3$	Mínimo $\text{Bq}/\text{m}^3$	Máximo $\text{Bq}/\text{m}^3$
I	Chihuahua	$44 \pm 7$	Linf	145
II	Centro Norte	$35 \pm 2$	Linf	113
III	Centro Sur	$23 \pm 7$	Linf	153
IV	Sureste	$61 \pm 3$	19	128
V	Sur	$24 \pm 1$	24	55
VI	Noreste	$42 \pm 1$	23	76
VII	Noroeste	$66 \pm 2$	37	112
VIII	Occidente	$57 \pm 3$	16	197

Linf: El límite inferior de detección es de  $13\text{Bq}/\text{m}^3$ .

Tabla 4.2: Promedio de niveles de  $^{222}\text{Rn}$  por Zona

A continuación en la Figura 4.3 presentamos la gráfica de la concentración del  $^{222}\text{Rn}$  por Zonas.



Figura 4.3: Concentración de  $^{222}\text{Rn}$  por Zonas

En la Figura 4.3 donde podemos ver los niveles de  $^{222}\text{Rn}$  promedio encontrado por Zona tenemos que en la que la zona VII se nota una mayor concentración de  $^{222}\text{Rn}$  que

corresponde a la parte noroeste de nuestro mapa 4.1 tocando las ciudades principales de Sinaloa y Sonora. En la Figura 4.4 presentamos la gráfica que corresponde a la concentración de  $^{222}\text{Rn}$  de los lugares estudiados organizando en función a la actividad.

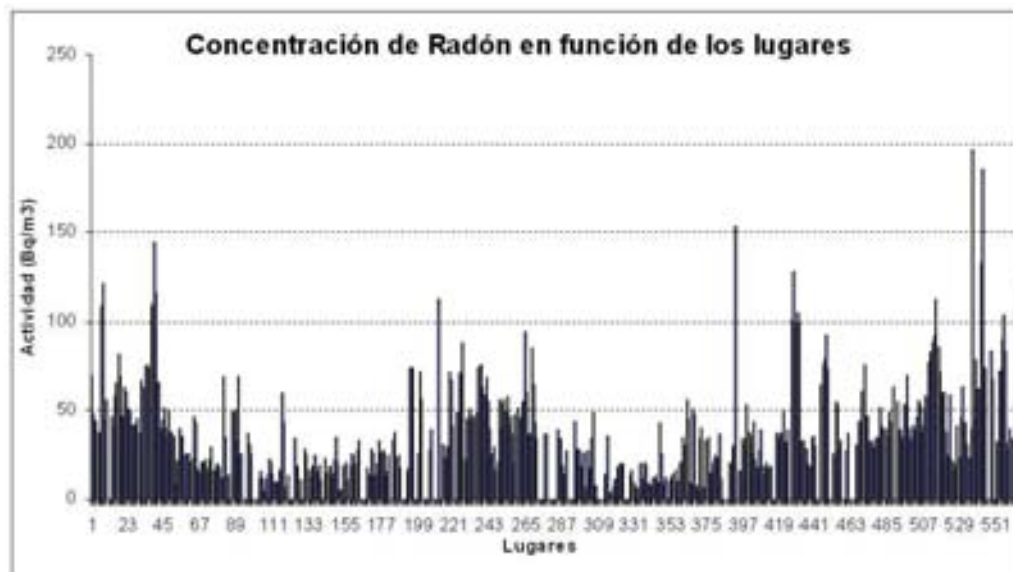


Figura 4.4: Lectura obtenida de  $^{222}\text{Rn}$  de los lugares estudiados en orden alfabético.

De la Figura 4.4 podemos observar que solo tres lugares están por encima de los niveles que recomienda la USEPA ( $148 \text{ Bq/m}^3$ ) ver apéndice.

Por último presentamos la gráfica de barras en la Figura 4.5 que contiene las 8 zonas estudiadas presentando sus valores máximos y mínimos encontrados en cada una de ellas. Las tablas de los datos utilizados en el presente trabajo están en el apéndice.



Figura 4.5: Concentración de  $^{222}\text{Rn}$  por Zonas con valores Máximos y Mínimos.

# Conclusiones

Se realizó por primera vez la evaluación de los niveles de concentración de  $^{222}\text{Rn}$  intramuros en ambientes laborales en la República Mexicana, para realizar este trabajo se utilizó Tecnología Mexicana, (tanto para el método como para la infraestructura de medición. Por medio del método de trazas nucleares en sólidos se monitoriaron un total de 288 sitios distribuidos en 24 de los 32 estados de la República Mexicana, cubriendo 26 ciudades, encontrando la distribución de concentración de radón intramuros de éstos. Observando los datos se concluye que el 100% de los lugares estudiados están por debajo del límite recomendado por la USEPA (United States Environmental Protection Agency) de  $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$ .

Los resultados anteriores se pueden explicar básicamente por el estilo de construcción de los edificios estudiados y el aire acondicionado que permanece funcionando alrededor de 11 horas diarias, haciendo que el gas  $^{222}\text{Rn}$  este en constante movimiento, siendo expulsado al exterior.

Por ser una medida de Radón en múltiples lugares y en diferentes regiones, además de ser masiva, tuvimos varios problemas que resolver:

- Transporte y distribución de los dispositivos tanto en la colocación, como en la recolección.
- Manejo de dispositivos: Se tuvieron que colocar en cajas de carton rígido para evitar que se rompieran durante el transporte y manipulación en la operación de colgado y descolgado.
- Permisos para colocarlos en arcos públicos y de seguridad.
- Cuidado y mantenimiento durante el tiempo de integración (dentro de las oficinas).

- Pérdida de Dispositivos: Se tuvo un control muy estricto en el manejo de los dispositivos para evitar el mayor número de pérdidas de estos. En nuestro caso tuvimos un 15.2 % de detectores perdidos en todo el proceso.
- Sin embargo el método de Trazas nucleares en sólidos, es el que recomendamos por su bajo costo, fácil manejo (en general) y funcionalidad, para medidas masivas (más de 30 lugares) de radón intramuros.

Finalmente es importante insistir en que las medidas más efectivas y más económicas para prevenir la acumulación de radón en el interior de los lugares de trabajo, son las que se toman en fase de construcción. Sin embargo, la mayor parte de las veces, existen soluciones sencillas para controlar, e incluso hacer desaparecer el problema, en edificios ya construidos.

## Comentarios

### Diferencias de regulación

El riesgo radiológico por la exposición del  $^{222}\text{Rn}$  nos obliga a considerar los diferentes niveles a los que las personas se enfrentan en lugares de trabajo pues aumenta la probabilidad de un riesgo por la duración de la jornada laboral.

En el UK de Health and Safety Executive (HSE)(RM 41-2006-229a234), han sido adoptados los niveles permitidos del radón de  $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$  para lugares de trabajo basados en el consejo NRPB (National Radiological Protection Board). Estos  $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$  son respecto a las 24 horas promedio medidas con factor de equilibrio de 0.5

Los niveles que la Unión Europea (EU) tiene como niveles aceptados son entre  $500$  and  $1500 \text{ Bq}/\text{m}^3$ . En Estados Unidos la EPA tiene los niveles de  $148 \text{ Bq}/\text{m}^3$  ( $4 \text{ pCi}/\text{l-1}$ ), la cual es recomendada para hogares pero para lugares de trabajo el niveles es de  $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$  (USEPA 2004).

En países como Hungría, los niveles para centros de trabajo son de  $1000 \text{ Bq}/\text{m}^3$  en promedio (Hungarian regulation 10-16/2000, 2000), usando un factor de equilibrio de 0.4. Este nivel esta de acuerdo con el ICRP-65, y la sugerencia de los EU de poder evaluar en un intervalo de (  $500$ - $1500 \text{ Bq}/\text{m}^3$  ).

En Israel, la referencia de estos valores es de  $200 \text{ Bq/m}^3$  para las escuelas y hogares, los niveles para lugares de trabajo es de  $400 \text{ Bq/m}^3$ , para los edificios nuevos de escuelas u hogares estos niveles tienen que estar en los  $40 \text{ Bq/m}^3$  y si es un edificio para oficinas o zona de trabajo a lo más se permiten los  $200 \text{ Bq/m}^3$  (*Akerblom*, 1999)

En México no existe una norma o regulación que especifique los niveles del  $^{222}\text{Rn}$  en hogares así como en lugares de trabajo. Por lo que este tipo de documentos permite la creación de la Norma Nacional para el radón en hogares y oficinas.



# Apéndice

## Unidades de Medición

Unidades	Definición de la unidad
1 Curie (Ci)	3.7 X10 <sup>10</sup> desintegraciones por segundo
1 Picocurie (pCi)	0.037 Bq 2.22 desintegraciones por minuto 10 <sup>-12</sup> Curies
1 Becquerel (Bq)	1 desintegración por segundo
1 Roentgen (R)	2.58 X10 <sup>-4</sup> Coulombs/Kg (en el aire)
1 Rad	0.01 J/Kg 62.4 X10 <sup>6</sup> Mev/g 100 ergs/g
1 Gray	1 J/Kg 100 Rads
1 Joule	6.24 X10 <sup>12</sup> Mev (millon de electron volts) 10 X10 <sup>7</sup> ergs
1 Working Level (WL)	100 pCi/1 de Rn en equilibrio con su progenitor
1 Wl	200 pCi/1 niveles de Rn en aire, factor de equilibrio de 0.5 1.3 X10 <sup>5</sup> Mev de energía potencial $\alpha$ por litro de aire.
100 pCi de <sup>222</sup> Rn	1.3 X 10 <sup>5</sup> Mev
1 Sievert	100 Rem 1 J/Kg
1 PCi/1	37 (Bq/m <sup>3</sup> )

Tabla 3: [27]Unidades de Radiación

## Propiedades Físicas del Radón

Número atómico	86
Símbolo	Rn
Grupo	8 – B
Conductividad Eléctrica	Indefinida
Conductividad Térmica	$3.6 \times 10^{-5} \text{ W/cm } ^\circ K$
Estado	Gas
Calor de Vaporización	16.40 KJ/mol
Calor de Fusión	2.89 KJ/mol
Punto de Fusión	202 $^\circ K$
Punto de Ebullición	211 $^\circ K$
Volumen atómico	$50.50 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Tabla 4: [27]Propiedades Físicas del Radón

## Glosario

**Actividad** El radio de desintegración de los radionucleidos, usualmente se expresa en curies (Ci) unidad usada anteriormente o Bequerle (Bq) unidad usada actualmente

**Aerosoles** Partículas finas de una sustancia suspendida en el aire.

**Agencia de Protección Ambiental** La misión de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos es la de proteger la salud de los humanos y la del medio ambiente. Desde 1970, la EPA ha estado trabajando por un ambiente más limpio, más saludable, para el pueblo estadounidense. Entre sus actividades se encuentra:

- Desarrollo y cumplimiento de las regulaciones ambientales
- Ofrecimiento de ayuda financiera
- Realiza investigaciones ambientales
- Auspicia consorcios y programas voluntarios
- Educación ambiental adicional

En julio de 1970, la Casa Blanca y el Congreso trabajaron en equipo para establecer el EPA en respuesta a la creciente demanda pública para agua, aire y suelo más limpio. Antes del establecimiento del EPA, el gobierno federal no estaba estructurado para hacer ataques coordinados contra los agentes contaminadores que dañan la salud humana y degradan el medio ambiente.

**Estocástico** Teoría estadística de los procesos cuya evolución en el tiempo es aleatoria, tal como la secuencia de las tiradas de un dado.

**Fondo** Por fondo radiactivo se entenderá toda la radiación que proviene de la tierra, aire y espacio por lo que su contribución aparecerán todo lugar donde se mida radiación.

**Vida media** La vida media es la cantidad de tiempo necesario para que se desintegren la mitad de los átomos de una muestra.

## Tablas de datos

RELACION DE UBICACION DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA I - CHIHUAHUA								
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, URBAN Y O POBLACION	FEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Instrum2	
1	212	CHIHUAHUA CENTRO	CHIHUAHUA	470953	CAJAS	70.11	311.58	
				470954	AREA DE EJECUTIVOS	47.82	212.53	
2	215	LIBERTAD	CHIHUAHUA	470955	CAJAS	37.95	168.66	
				470956	AREA DE EJECUTIVOS	44.65	198.45	
3	218	UNIVERSIDAD	CHIHUAHUA	470957	CAJAS	38.18	169.71	
				470958	AREA DE EJECUTIVOS	32.40	144.00	
4	219	PERIFERICO	CHIHUAHUA	470960	CAJAS	109.69	483.04	
				470961	AREA DE EJECUTIVOS	121.00	538.00	
5	448	LA FUENTE	CHIHUAHUA	470962	CAJAS	44.82	199.19	
				470963	AREA DE EJECUTIVOS	56.68	251.92	
6	721	ZONA DORADA	CHIHUAHUA	470964	CAJAS	<b>Perdido</b>		
				470965	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>		

7	722	PLAZA SUR	CHIHUAHUA	470966	CAJAS	47.19	209.73
				470967	AREA DE EJECUTIVOS	40.70	180.91
8	747	AMERICAS	CHIHUAHUA	470968	CAJAS	59.11	262.69
				470969	AREA DE EJECUTIVOS	66.00	293.33
9	748	CARRETERA JUAREZ	CHIHUAHUA	470970	CAJAS	82.39	366.19
				470971	AREA DE EJECUTIVOS	69.79	310.10
10	749	20 DE NOVIEMBRE	CHIHUAHUA	470972	CAJAS	47.36	210.50
				470973	AREA DE EJECUTIVOS	38.72	172.09
11	750	LAS QUINTAS	CHIHUAHUA	470974	CAJAS	63.97	284.29
				470975	AREA DE EJECUTIVOS	60.45	268.66
12	756	OCCAMPO	CHIHUAHUA	470976	CAJAS	52.07	231.43
				470977	AREA DE EJECUTIVOS	50.15	222.89
13	898	PLAZA BERRA	CHIHUAHUA	470978	CAJAS	21.62	96.07
				470979	AREA DE EJECUTIVOS	41.71	185.39

14	1033	JUAN ESCUTA	CHIHUAHUA	470980	CAJAS	42.39	188.41
				470987	AREA DE EJECUTIVOS	27.99	124.40
15	1129	HIPERMART MIRADOR	CHIHUAHUA	470982	CAJAS	45.19	200.82
				470983	AREA DE EJECUTIVOS	37.55	166.89
16	1130	MEDICINA	CHIHUAHUA	470984	CAJAS	67.29	299.08
				470985	AREA DE EJECUTIVOS	62.79	279.05
17	1131	CHIHUAHUA 2000	CHIHUAHUA	470986	CAJAS	59.78	265.69
				470987	AREA DE EJECUTIVOS	75.47	335.42
18	1567	ZARCO	CHIHUAHUA	470988	CAJAS	75.84	337.08
				470989	AREA DE EJECUTIVOS	74.11	329.38
19	1596	MELCHOR GUASPE	CHIHUAHUA	470990	CAJAS	109.85	487.33
				470991	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	
20	1770	MIS CHIHUAHUA	CHIHUAHUA	470992	CAJAS	144.70	643.09
				470993	AREA DE EJECUTIVOS	116.13	516.14
21	395	TECNOLOGICO	CO JUAREZ	470994	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				470995	AREA DE EJECUTIVOS	66.33	294.79

22	206	JUAREZ 1 DE MAYO	CO JUAREZ	471004	CAJAS	40.07	178.08
				471005	AREA DE EJECUTIVOS	45.12	200.53
23	207	JUAREZ CENTRO	CO JUAREZ	471006	CAJAS	51.61	229.38
				471007	AREA DE EJECUTIVOS	40.71	180.93
24	208	JUAREZ INSURGENTES	CO JUAREZ	471008	CAJAS	35.54	157.94
				471009	AREA DE EJECUTIVOS	50.00	222.21
25	209	FUTURAMA	CO JUAREZ	471010	CAJAS	38.18	169.70
				471011	AREA DE EJECUTIVOS	21.99	97.74
26	210	JUAREZ PASEO	CO JUAREZ	471012	CAJAS	36.31	161.38
				471013	AREA DE EJECUTIVOS	7.62	33.88
27	211	TECNOLOGICO	CO JUAREZ	471014	CAJAS	21.68	96.35
				471015	AREA DE EJECUTIVOS	22.19	98.63
28	423	PLAZA RELOJ	CO JUAREZ	471016	CAJAS	38.55	175.79
				471017	AREA DE EJECUTIVOS	36.11	160.50
29	718	LA RAZA	CO JUAREZ	471018	CAJAS	24.73	109.90
				471019	AREA DE EJECUTIVOS	20.22	89.86

30	719	SANDERS	CD JUAREZ	47080	CAJAS	25.88	115.03
				47081	AREA DE EJECUTIVOS	26.06	115.84
31	726	SATELITE	CD JUAREZ	47082	CAJAS	21.42	95.18
				47083	AREA DE EJECUTIVOS	23.08	102.57
32	744	CAMPESTRE	CD JUAREZ	47084	CAJAS	47.24	209.95
				47085	AREA DE EJECUTIVOS	42.97	190.95
33	745	BLVD FLORES SANCHEZ	CD JUAREZ	47086	CAJAS	17.30	76.87
				47088	AREA DE EJECUTIVOS	16.07	71.41
34	748	HENEQUEN	CD JUAREZ	47089	CAJAS	14.49	64.38
				47090	AREA DE EJECUTIVOS	21.59	95.93
35	872	EJERCITO NACIONAL	CD JUAREZ	47091	CAJAS	21.01	93.39
				47092	AREA DE EJECUTIVOS	22.95	100.65
36	874	ALTAVISTA	CD JUAREZ	47093	CAJAS	17.28	76.80
				47094	AREA DE EJECUTIVOS	15.47	68.77
37	SN	PRESENCIA (874)	CD JUAREZ	47095	CAJAS	22.34	99.28
				47096	AREA DE EJECUTIVOS	29.53	131.25

38	875	LA CUESTA	CD JUAREZ	47097	CAJAS	17.05	75.83
				47098	AREA DE EJECUTIVOS	11.07	49.18
39	1147	ATLANTIS	CD JUAREZ	47099	CAJAS	19.82	88.09
				47080	AREA DE EJECUTIVOS	19.38	86.14
40	1842	SMART LOPEZ MATEOS	CD JUAREZ	47100	CAJAS	18.23	81.03
				47094	AREA DE EJECUTIVOS	12.06	53.63
41	1771	MRS JUAREZ 1	CD JUAREZ	47085	CAJAS	69.26	307.84
				47096	AREA DE EJECUTIVOS	35.36	157.15
42	1878	VALLE DE JUAREZ	CD JUAREZ	47087	CAJAS	11.00	48.88
				47098	AREA DE EJECUTIVOS	13.60	60.44

**RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADON  
ZONA II - CENTRO NORTE**

NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA USAR Y O POBLACION	TEN DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Trasform2
				47096	CAJAS	Faltan	
				47096	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	

2	821	LEIGARRA (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47088	CAJAS	49.47	219.87
				47087	AREA DE EJECUTIVOS	50.49	224.40
3	817	ENJAMIN FRANKLIN (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47089	CAJAS	32.67	145.20
				47088	AREA DE EJECUTIVOS	69.34	308.18
4	18	POLANCO (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47088	CAJAS	25.88	115.02
				47087	AREA DE EJECUTIVOS	25.25	112.22
5	840	EJERCITO NACIONAL (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47088	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				47089	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	
6	737	ARISTOTELES (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47089	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				47081	AREA DE EJECUTIVOS	37.84	168.18
7	133	OSPITAL ESPAÑOL (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47081	CAJAS	31.04	137.96
				47084	AREA DE EJECUTIVOS	25.88	115.02
8	383	SUDERMAN (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47083	CAJAS	<b>Sin autorización</b>	
				47086	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Sin autorización</b>	
9	23	LOMAS (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47087	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				47088	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	

10	52	BOSQUES DE LAS LOMAS (PREMER) (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47083	CAJAS	12.16	54.04
				47085	AREA DE EJECUTIVOS	16.29	72.40
11	811	MAZARUK (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47084	CAJAS	11.84	52.62
				47085	AREA DE EJECUTIVOS	4.93	21.91
12	132	PRADO NORTE (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47086	CAJAS	11.46	50.93
				47087	AREA DE EJECUTIVOS	14.66	65.16
13	881	REBELLON POLANCO (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47088	CAJAS	21.99	97.73
				47089	AREA DE EJECUTIVOS	21.06	93.60
14	778	V DE LAS PALMAS (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47088	CAJAS	14.60	64.89
				47087	AREA DE EJECUTIVOS	9.24	41.07
15	168	JAIME SALMES (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47082	CAJAS	10.74	47.73
				47083	AREA DE EJECUTIVOS	8.88	39.47
16	386	LOMAS PALMAS (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47086	CAJAS	16.79	74.62
				47087	AREA DE EJECUTIVOS	13.64	60.62
17	385	HOMERO (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47088	CAJAS	60.14	267.29
				47089	AREA DE EJECUTIVOS	44.01	195.60

18	43	TACUBA (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47090	CAJAS	7.47	33.29
				47091	AREA DE EJECUTIVOS	13.19	58.62
19	55	AZCAPOTZALCO (Azcapotzalco)	CIUDAD DE MEXICO	47093	CAJAS	Sin autorización	
				47094	AREA DE EJECUTIVOS	Sin autorización	
20	187	PLAZA SOTELO (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47094	CAJAS	Faltan	
				47095	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
21	43	RASTRÓ (Azcapotzalco)	CIUDAD DE MEXICO	47096	CAJAS	34.22	152.09
				47097	AREA DE EJECUTIVOS	19.02	84.53
22	40	JARDÍN MOLINA (Gustavo A. Madero)	CIUDAD DE MEXICO	47098	CAJAS	Perdido	
				47099	AREA DE EJECUTIVOS	11.07	49.29
23	85	CENTENARIO (Gustavo A. Madero)	CIUDAD DE MEXICO	47099	CAJAS	Perdido	
				47100	AREA DE EJECUTIVOS	Perdido	
24	17	ZONA ROSA (Cuauhtémoc)	CIUDAD DE MEXICO	47102	CAJAS	29.00	129.16
				47103	AREA DE EJECUTIVOS	25.18	111.91
25	305	NSA (Cuauhtémoc)	CIUDAD DE MEXICO	47104	CAJAS	16.47	73.29
				47105	AREA DE EJECUTIVOS	12.21	54.27

26	7	FRANCO ESCOBEDO (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47106	CAJAS	18.82	83.64
				47107	AREA DE EJECUTIVOS	8.52	37.87
27	56	EUGENIO BUE (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47108	CAJAS	24.59	109.29
				47109	AREA DE EJECUTIVOS	16.10	71.56
28	56	HORACIO (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47109	CAJAS	19.25	85.56
				47107	AREA DE EJECUTIVOS	10.90	48.44
29	90	LADOS ANAHUAC (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47107	CAJAS	Sin autorización	
				47107	AREA DE EJECUTIVOS	Sin autorización	
30	116	RÍO TIBER (Cuauhtémoc)	CIUDAD DE MEXICO	47108	CAJAS	23.33	103.69
				47107	AREA DE EJECUTIVOS	15.09	67.07
31	381	EMERSON (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47109	CAJAS	18.49	82.18
				47107	AREA DE EJECUTIVOS	19.07	84.70
32	308	LAS DE TEGAMACHALCO (Nauyaca)	CIUDAD DE MEXICO	47109	CAJAS	11.84	52.62
				47107	AREA DE EJECUTIVOS	14.96	66.04
33	63	TRUDIS SANCHEZ (Gustavo A. Madero)	CIUDAD DE MEXICO	47109	CAJAS	22.29	99.07
				47107	AREA DE EJECUTIVOS	35.38	157.24



34	107	PROHOGAR (Acapulco)	CIUDAD DE MEXICO	47092	CAJAS	20.87	82.76
				47093	AREA DE EJECUTIVOS	5.35	23.78
35	25	CUAJMALPA (Cuajmalpa)	CIUDAD DE MEXICO	47094	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				47097	AREA DE EJECUTIVOS	19.17	85.29
36	90	CENTRO SANTA FE (Cuajmalpa)	CIUDAD DE MEXICO	47098	CAJAS	<b>Sin autorización</b>	
				47099	AREA DE EJECUTIVOS	20.91	82.93
37	80	MINO A SANTA FE (Aviaco Obregón)	CIUDAD DE MEXICO	47096	CAJAS	11.42	50.76
				47095	AREA DE EJECUTIVOS	19.44	86.40
38	80	OBSERVATORIO (Aviaco Obregón)	CIUDAD DE MEXICO	47092	CAJAS	25.36	112.71
				47093	AREA DE EJECUTIVOS	25.11	111.60
39	110	CAS OBSERVATORIO (Aviaco Obregón)	CIUDAD DE MEXICO	47094	CAJAS	20.31	90.27
				47095	AREA DE EJECUTIVOS		
40	118	PABELON BOQUES (Cuajmalpa)	CIUDAD DE MEXICO	47096	CAJAS	28.33	125.91
				47097	AREA DE EJECUTIVOS	33.60	149.33
41	85	MANUEL E. ZAGURRE (Naucalpan)	ESTADO DE MEXICO	47097	CAJAS	<b>Faltan</b>	
				47099	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Faltan</b>	

42	107	LA ROMANA (Tehuacan)	ESTADO DE MEXICO	47091	CAJAS	<b>Faltan</b>	
				47092	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Faltan</b>	
43	105	CHILUCA (Huehuetlancingo)	ESTADO DE MEXICO	47093	CAJAS	17.84	79.29
				47094	AREA DE EJECUTIVOS	13.65	60.67
44	180	SAN PABLO XALPA (Tehuacan)	ESTADO DE MEXICO	47095	CAJAS	28.80	128.00
				47096	AREA DE EJECUTIVOS	20.43	117.47
45	25	SANTA CLARA (Ecatepec)	ESTADO DE MEXICO	47098	CAJAS	13.60	60.44
				47099	AREA DE EJECUTIVOS	9.70	43.38
46	90	PLAZA ARAGON (Ecatepec)	ESTADO DE MEXICO	47092	CAJAS	19.79	87.91
				47093	AREA DE EJECUTIVOS	33.79	150.13
47	57	PLAZA JARDINES (Tehuacan)	ESTADO DE MEXICO	47095	CAJAS	20.64	118.40
				47096	AREA DE EJECUTIVOS	28.06	124.71
48	70	DOMES DE SANTA CLARA (Ecatepec)	ESTADO DE MEXICO	47097	CAJAS	25.96	115.38
				47098	AREA DE EJECUTIVOS	12.88	57.24
49	80	PLAZA COACALCO (Ecatepec)	ESTADO DE MEXICO	47099	CAJAS	15.69	69.73
				47096	AREA DE EJECUTIVOS	24.79	110.18

50	196	JO DE LOS REMEDIOS (Tehuacan)	ESTADO DE MEXICO	471020	CAJAS	Perdido	
				471020	AREA DE EJECUTIVOS	33.65	149.56
51	303	INDUSTRIAL KALOSTOC Ecatepec	ESTADO DE MEXICO	471025	CAJAS	38.55	171.33
				471026	AREA DE EJECUTIVOS	23.91	106.27
52	46	CUAUTITLAN (Cuautlan)	ESTADO DE MEXICO	471027	CAJAS	Perdido	
				471028	AREA DE EJECUTIVOS	24.85	110.44
53	81	LE DORADO (PREMER) (Tehuacan)	ESTADO DE MEXICO	471029	CAJAS	17.53	77.91
				471029	AREA DE EJECUTIVOS	Perdido	
54	10	ATZAPAN (Atzacapan)	ESTADO DE MEXICO	471031	CAJAS	Sin autorización	
				471032	AREA DE EJECUTIVOS	Sin autorización	
55	16	ILLAS DE LA HACIENDA (Atzacapan)	ESTADO DE MEXICO	471033	CAJAS	16.10	71.56
				471034	AREA DE EJECUTIVOS	17.29	76.84
56	52	TEPOTZOTLAN (Tepotzotlan)	ESTADO DE MEXICO	471035	CAJAS	74.54	331.29
				471036	AREA DE EJECUTIVOS	74.40	330.67
57	90	TEQUESQUINAHUAC (Tehuacan)	ESTADO DE MEXICO	471037	CAJAS	Faltan	
				471038	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	

58	198	REHILETE (CALI) (Cuautlan)	ESTADO DE MEXICO	471039	CAJAS	Perdido	
				471039	AREA DE EJECUTIVOS	25.57	113.64
59	60	TULAYTLAN (Tallan)	ESTADO DE MEXICO	471021	CAJAS	71.95	319.78
				471022	AREA DE EJECUTIVOS	57.10	253.78
60	73	TEOLOYLICAN (Teoloyucan)	ESTADO DE MEXICO	471023	CAJAS	Faltan	
				471024	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
61	74	ATZAPAN CENTRO (Atzacapan)	ESTADO DE MEXICO	471027	CAJAS	Faltan	
				471028	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
62	97	TULA (Tula de Allende)	ESTADO DE MEXICO	471029	CAJAS	28.30	125.78
				471030	AREA DE EJECUTIVOS	39.27	174.53
63	106	DOROTA CUAUTITLAN (Cuautlan)	ESTADO DE MEXICO	471021	CAJAS	Faltan	
				471022	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
64	101	NICOLAS ROMERO	ESTADO DE MEXICO	471033	CAJAS	Perdido	
				471034	AREA DE EJECUTIVOS	112.84	501.51
65	108	DOME MART FERRONTE (Cuautlan)	ESTADO DE MEXICO	471035	CAJAS	Faltan	
				471036	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	

66	195	TEPEJA DEL RIO	ESTADO DE MEXICO	47027	CAJAS	31.17	138.53
				47028	AREA DE EJECUTIVOS	24.35	108.22
67	453	RECURSOS HIDRAULICOS (Tehuacan)	ESTADO DE MEXICO	47029	CAJAS	29.79	132.49
				47030	AREA DE EJECUTIVOS	19.79	87.91
68	75	OTUMBA	ESTADO DE MEXICO	47031	CAJAS	71.90	319.56
				47032	AREA DE EJECUTIVOS	67.24	298.84
69	86	ZAMPANGO	ESTADO DE MEXICO	47033	CAJAS	41.16	182.93
				47034	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	
70	138	TEOTIHUACAN	ESTADO DE MEXICO	47035	CAJAS	49.45	219.78
				47036	AREA DE EJECUTIVOS	40.70	180.89
71	199	TECAMAC	ESTADO DE MEXICO	47037	CAJAS	71.45	317.56
				47038	AREA DE EJECUTIVOS	34.55	153.56
72	49	TENANCONGO	ESTADO DE MEXICO	47039	CAJAS	88.40	392.89
				47040	AREA DE EJECUTIVOS	22.06	98.04
73	58	PLAZA SAN JUAN (Mejapic)	ESTADO DE MEXICO	47041	CAJAS	45.30	201.33
				47042	AREA DE EJECUTIVOS	44.76	198.93

74	82	SAN CARLOS (Mejapic)	ESTADO DE MEXICO	47043	CAJAS	5105.00	22688.89
				47044	AREA DE EJECUTIVOS	48.31	214.71
75	78	ATLACOMULCO	ESTADO DE MEXICO	47045	CAJAS	43.21	192.04
				47046	AREA DE EJECUTIVOS	47.33	210.36
76	346	PLARES (Mejapic)	ESTADO DE MEXICO	47047	CAJAS	49.90	221.78
				47048	AREA DE EJECUTIVOS	74.05	329.11
77	150	LAS FLORES (Tehuacan)	ESTADO DE MEXICO	47049	CAJAS	74.87	332.76
				47050	AREA DE EJECUTIVOS	76.27	338.98
78	117	VALLE DE BRAVO	ESTADO DE MEXICO	47051	CAJAS	63.71	283.16
				47052	AREA DE EJECUTIVOS	59.28	263.47
79	187	TENANGO DEL VALLE	ESTADO DE MEXICO	47053	CAJAS	68.30	303.56
				47054	AREA DE EJECUTIVOS	54.98	243.82
80	54	TECAMACHALCO	ESTADO DE MEXICO	47055	CAJAS	40.33	179.24
				47056	AREA DE EJECUTIVOS	31.22	138.78
81	121	HUZACHIL (Haucajari)	ESTADO DE MEXICO	47057	CAJAS	25.16	111.82
				47058	AREA DE EJECUTIVOS	29.48	131.02

82	185	JOSQUES DE MNAS (Huangácatl)	ESTADO DE MÉXICO	471076	CAJAS	16.51	73.38
				471075	AREA DE EJECUTIVOS	21.59	95.90
83	186	SAVADA INTERLOMAS (Huangácatl)	ESTADO DE MÉXICO	471071	CAJAS	56.90	252.89
				471072	AREA DE EJECUTIVOS	38.95	172.67
84	88	SANTIAGO TIANGUSTENCO	ESTADO DE MÉXICO	471073	CAJAS	54.14	
				471074	AREA DE EJECUTIVOS	57.01	253.38
85	76	LERMA	ESTADO DE MÉXICO	471077	CAJAS	49.64	220.62
				471078	AREA DE EJECUTIVOS	58.31	259.16
86	180	ADUANA AEROPUERTO	ESTADO DE MÉXICO	471079	CAJAS	41.43	184.13
				471080	AREA DE EJECUTIVOS	46.97	208.76
87	195	OUTLET LERMA	ESTADO DE MÉXICO	471081	CAJAS	36.66	162.93
				471082	AREA DE EJECUTIVOS	20.03	89.02
88	192	TOLUCA 2000	ESTADO DE MÉXICO	471083	CAJAS	48.03	213.47
				471084	AREA DE EJECUTIVOS	51.98	231.02
89	191	HUIXQUILUCAN	ESTADO DE MÉXICO	471085	CAJAS	37.72	167.64
				471086	AREA DE EJECUTIVOS	45.85	203.78

90	328	PASO TOLLOCAN (Rehén)	ESTADO DE MÉXICO	471087	CAJAS	55.30	245.78
				471088	AREA DE EJECUTIVOS	45.70	203.11
91	82	PACHUCA (PREMER)	HIDALGO	471087	CAJAS	94.36	419.38
				471088	AREA DE EJECUTIVOS	60.83	270.36
92	112	PLAZA LA JOYA	HIDALGO	471089	CAJAS	36.76	163.38
				471089	AREA DE EJECUTIVOS	22.88	101.69
93	118	MADERO	HIDALGO	471091	CAJAS	85.36	379.38
				471092	AREA DE EJECUTIVOS	65.07	289.20
94	197	ZONA PLATEADA PACHUCA	HIDALGO	471093	CAJAS	42.75	190.00
				471094	AREA DE EJECUTIVOS	34.11	151.60
95	21	NAUCALPAN	ESTADO DE MÉXICO	471095	CAJAS	Sin autorización	
				471097	AREA DE EJECUTIVOS	Sin autorización	
96	97	CENTRUM 2000	ESTADO DE MÉXICO	471098	CAJAS	Faltan	
				471099	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
97	76	EL MOUNTO	ESTADO DE MÉXICO	471099	CAJAS	36.40	161.78
				471071	AREA DE EJECUTIVOS	36.79	163.51

98	772	REHILETE NAUCALLI	ESTADO DE MEXICO	47027	CAJAS	Faltan	
				47027	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
99	13	TLALNEPANTLA	ESTADO DE MEXICO	47028	CAJAS	Faltan	
				47025	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
100	58	GUSTAVO BAZ	ESTADO DE MEXICO	47026	CAJAS	Faltan	
				47027	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
<b>RELACION DE UBICACION DE DETECTORES DE GAS RADON ZONA III - CENTRO SUR</b>							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, USUARIO Y/O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bqm <sup>3</sup> )	Instrucion2
1	9	TACUBAYA (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47094	CAJAS	39.13	173.91
				47095	AREA DE EJECUTIVOS	34.55	153.56
2	3022	CANDON TACUBAYA (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47096	CAJAS	19.02	84.53
				47097	AREA DE EJECUTIVOS	13.93	61.91
3	98	S.B.P. LOMAS (Miguel Hidalgo)	CIUDAD DE MEXICO	47022	CAJAS	14.00	62.22
				47022	AREA DE EJECUTIVOS	27.39	121.73

4	81	ISABELA CATOLICA (Cuauhtemoc)	CIUDAD DE MEXICO	47105	CAJAS	Perdido	
5	542	BOURNI (Cuauhtemoc)	CIUDAD DE MEXICO	47108	CAJAS	Perdido	
				47107	AREA DE EJECUTIVOS	Perdido	
6	815	BRASIL (Cuauhtemoc)	CIUDAD DE MEXICO	47103	CAJAS	43.64	193.95
				47109	AREA DE EJECUTIVOS	26.97	119.87
7	944	ERMITA JACARANDAS (Iztacalco)	CIUDAD DE MEXICO	47110	CAJAS	28.44	126.40
				47111	AREA DE EJECUTIVOS	28.16	125.16
8	953	ITACALCO (Iztacalco)	CIUDAD DE MEXICO	47114	CAJAS	19.41	86.27
				47115	AREA DE EJECUTIVOS	20.30	116.89
9	42	PUERTO SALA F (Venustiano Carr)	CIUDAD DE MEXICO	47116	CAJAS	7.21	32.04
				47117	AREA DE EJECUTIVOS	Perdido	
10	79	ARD AEROPUERTO (Venustiano Carr)	CIUDAD DE MEXICO	47113	CAJAS	27.36	121.60
				47119	AREA DE EJECUTIVOS	17.80	79.11
11	582	ROJO GOMEZ (Iztacalco)	CIUDAD DE MEXICO	47120	CAJAS	34.30	152.44
				47121	AREA DE EJECUTIVOS	49.29	219.07

12	589	AY BERVANDO (Venustiano Carran	CIUDAD DE MEXICO	47022	CAJAS	6.04	26.84
				47023	AREA DE EJECUTIVOS	7.59	33.73
13	618	DAD DEPORTIVA (Venustiano Carran	CIUDAD DE MEXICO	47024	CAJAS	Faltan	
				47025	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
14	58	AEROPUERTO INTERNACIONAL SALA A (Venustiano Carrasco)	CIUDAD DE MEXICO	47026	CAJAS	Faltan	
				47027	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
15	493	RIO CHURUBUSCO (Ixtapalapa)	CIUDAD DE MEXICO	47028	CAJAS	14.00	62.22
				47029	AREA DE EJECUTIVOS	13.19	58.62
16	1862	BASTOS ABAROTES (Ixtapalapa)	CIUDAD DE MEXICO	47030	CAJAS	35.73	158.80
				47031	AREA DE EJECUTIVOS	Perdido	
17	15	NARVATE (Benito Juarez)	CIUDAD DE MEXICO	47032	CAJAS	4.43	19.69
				47033	AREA DE EJECUTIVOS	7.30	32.44
18	569	GLORETA RIVERA (Benito Juarez)	CIUDAD DE MEXICO	47034	CAJAS	11.13	49.47
				47035	AREA DE EJECUTIVOS	11.31	50.27
19	652	MONTERREY (Benito Juarez)	CIUDAD DE MEXICO	47036	CAJAS	18.57	82.53
				47037	AREA DE EJECUTIVOS	14.28	63.47

20	77	NUEVO LEON (Cuauhtemoc)	CIUDAD DE MEXICO	47038	CAJAS	20.34	90.49
				47039	AREA DE EJECUTIVOS	20.12	89.42
21	92	PRIME (Cuauhtemoc)	CIUDAD DE MEXICO	47040	CAJAS	Faltan	
				47041	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
22	96	CINA CENTRAL MATRIZ (Cuauhtemoc)	CIUDAD DE MEXICO	47042	CAJAS	Faltan	
				47043	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
23	534	CONDESA (Cuauhtemoc)	CIUDAD DE MEXICO	47044	CAJAS	13.88	61.69
				47045	AREA DE EJECUTIVOS	17.16	76.27
24	627	MERIDA (Cuauhtemoc)	CIUDAD DE MEXICO	47046	CAJAS	9.61	42.71
				47047	AREA DE EJECUTIVOS	Perdido	
25	39	IONIMO (PREMIER) (Magdalena C	CIUDAD DE MEXICO	47048	CAJAS	6.02	26.76
				47049	AREA DE EJECUTIVOS	5.91	26.27
26	997	LJO DE LA JUDICATURA (Alvaro O	CIUDAD DE MEXICO	47050	CAJAS	19.71	87.60
				47051	AREA DE EJECUTIVOS	11.82	52.53
27	1103	MERCED GOMEZ (Alvaro Obregon)	CIUDAD DE MEXICO	47052	CAJAS	20.82	92.53
				47053	AREA DE EJECUTIVOS	19.32	85.87

28	1574	LA MAGDALENA (Magdalena Contreras)	CIUDAD DE MEXICO	471024	CAJAS	5.29	23.51
				471025	AREA DE EJECUTIVOS	8.88	39.47
29	519	VIVEROS (Coyoacán)	CIUDAD DE MEXICO	471026	CAJAS	5.60	24.89
				471027	AREA DE EJECUTIVOS	7.86	34.93
30	3011	OMERO DE TERREROS (Coyoacán)	CIUDAD DE MEXICO	471028	CAJAS	12.21	54.27
				471029	AREA DE EJECUTIVOS	13.88	61.69
31	3054	SANCA INSURGENTES (Benito Juárez)	CIUDAD DE MEXICO	471030	CAJAS	8.46	37.60
				471031	AREA DE EJECUTIVOS	10.39	46.18
32	816	Nº MEXICO (Magdalena Contreras)	CIUDAD DE MEXICO	471032	CAJAS	43.11	191.60
				471033	AREA DE EJECUTIVOS	25.43	113.02
33	686	MEDICA SUR (Tlalpam)	CIUDAD DE MEXICO	471034	CAJAS	9.92	44.09
				471035	AREA DE EJECUTIVOS	12.88	57.24
34	803	LA JOYA (Tlalpam)	CIUDAD DE MEXICO	471036	CAJAS	<b>Sin autorización</b>	
				471037	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Sin autorización</b>	
35	5	XOCHIMILCO (Xochimilco)	CIUDAD DE MEXICO	471038	CAJAS	10.22	45.42
				471039	AREA DE EJECUTIVOS	12.83	57.02

36	87	COPLAZA (Tlalpam)	CIUDAD DE MEXICO	471040	CAJAS	14.52	64.55
				471041	AREA DE EJECUTIVOS	16.87	74.98
37	636	XOCHIMILCO CENTRO (Coyoacán)	CIUDAD DE MEXICO	471042	CAJAS	10.70	47.56
				471043	AREA DE EJECUTIVOS	10.08	44.80
38	643	GALERIAS COAPA (Tlalpam)	CIUDAD DE MEXICO	471044	CAJAS	20.51	91.16
				471045	AREA DE EJECUTIVOS	21.01	93.38
39	920	ZAPOTITLAN (Tlalhuac)	CIUDAD DE MEXICO	471046	CAJAS	35.51	157.82
				471047	AREA DE EJECUTIVOS	31.33	139.24
40	952	PLAZA TLALHUAC (Tlalhuac)	CIUDAD DE MEXICO	471048	CAJAS	56.83	252.58
				471049	AREA DE EJECUTIVOS	45.76	203.38
41	1067	MARKET PLACE (Tlalpam)	CIUDAD DE MEXICO	471050	CAJAS	8.82	39.20
				471051	AREA DE EJECUTIVOS	6.02	26.76
42	1141	MILPA ALTA (Miguel Alemán)	CIUDAD DE MEXICO	471052	CAJAS	50.96	226.44
				471053	AREA DE EJECUTIVOS	48.31	214.71
43	1974	SAT VAQUERITOS (Xochimilco)	CIUDAD DE MEXICO	471054	CAJAS	7.79	34.62
				471055	AREA DE EJECUTIVOS	4.14	18.40

44	443	CUJUHACAN (Iztapalapa)	CIUDAD DE MEXICO	47026	CAJAS	34 01	151 16
				47027	AREA DE EJECUTIVOS	40 82	181 42
45	547	PLAZA TAXQUEÑA (Coyoacán)	CIUDAD DE MEXICO	47028	CAJAS	6 38	28 36
				47029	AREA DE EJECUTIVOS	5 37	23 87
46	988	LA VIGA (Iztapalapa)	CIUDAD DE MEXICO	47030	CAJAS	33 50	148 89
				47031	AREA DE EJECUTIVOS	35 35	157 11
47	3012	TAXQUEÑA (PREMER) (Coyoacán)	CIUDAD DE MEXICO	47032	CAJAS	5 69	25 29
				47033	AREA DE EJECUTIVOS	15 42	68 53
48	14	TEXCOCO	ESTADO DE MEXICO	47034	CAJAS	20 16	89 60
				47035	AREA DE EJECUTIVOS	22 36	99 38
49	574	PLAZA LA MORENA	ESTADO DE MEXICO	47036	CAJAS	24 74	109 96
				47037	AREA DE EJECUTIVOS	22 94	101 96
50	885	CHICONGUAC	ESTADO DE MEXICO	47038	CAJAS	36 48	162 04
				47039	AREA DE EJECUTIVOS	12 16	54 04
51	1068	NEZAHUALCOYOTL	ESTADO DE MEXICO	47040	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				47041	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	

52	1115	CHICOLDAPAN	ESTADO DE MEXICO	47042	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				47043	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	
53	75	ACAPULCO-COSTERA	GUERRERO	47044	CAJAS	20 43	90 80
				47045	AREA DE EJECUTIVOS	19 38	86 13
54	76	ACAPULCO CENTRO	GUERRERO	47046	CAJAS	30 49	135 51
				47047	AREA DE EJECUTIVOS	24 56	109 16
55	775	RENACIMIENTO	GUERRERO	47048	CAJAS	152 97	679 87
				47049	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	
56	1905	CUAJATEMOC	GUERRERO	47050	CAJAS	16 29	72 40
				47051	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	
57	85	GUERNAVACA CENTRO	MORELOS	47052	CAJAS	34 48	153 24
				47053	AREA DE EJECUTIVOS	30 60	136 00
58	633	SAN DIEGO	MORELOS	47054	CAJAS	34 54	153 51
				47055	AREA DE EJECUTIVOS	53 45	237 56
59	890	PLAN DE AYALA	MORELOS	47056	CAJAS	38 60	171 56
				47057	AREA DE EJECUTIVOS	35 64	158 40



60	1570	PLAZA LAUREL	MORELOS	471944	CAJAS	25.55	113.56
				471945	AREA DE EJECUTIVOS	44.18	196.39
61	3029	GALEANA CENTRO	MORELOS	471946	CAJAS	22.52	100.09
				471947	AREA DE EJECUTIVOS	17.49	77.73
62	30	CHALCO	ESTADO DE MEXICO	471948	CAJAS	27.99	124.40
				471949	AREA DE EJECUTIVOS	38.81	172.49
63	565	PANTILLAN	ESTADO DE MEXICO	471950	CAJAS	18.97	84.31
				471951	AREA DE EJECUTIVOS	13.20	58.67
64	587	CHIMALHUACAN	ESTADO DE MEXICO	471952	CAJAS	18.31	81.38
				471953	AREA DE EJECUTIVOS	20.53	91.24
65	573	XITAPALUCA	ESTADO DE MEXICO	471954	CAJAS	17.60	78.22
				471955	AREA DE EJECUTIVOS	19.25	85.56
66	625	LOS REYES	ESTADO DE MEXICO	471956	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				471957	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	
67	961	CATEDRAL CHALCO	ESTADO DE MEXICO	471958	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				471959	AREA DE EJECUTIVOS	27.85	168.22

68	991	AMÉCAMECA	ESTADO DE MEXICO	471960	CAJAS	34.97	155.42
				471961	AREA DE EJECUTIVOS	37.67	167.42
69	1018	REYES CENTRO	ESTADO DE MEXICO	471962	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				471963	AREA DE EJECUTIVOS	50.45	224.22
70	1239	QUAHTEMOC NEZA	ESTADO DE MEXICO	471964	CAJAS	31.89	141.73
				471965	AREA DE EJECUTIVOS	19.92	88.53
<b>RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA IV – SURESTE</b>							
NUMERO	NUMERO DE SUJORSAL	NOMBRE DE LA SUJORSAL	PLAZA, LUGAR Y/O POBLACION	TIPO DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Instruccion
1	378	CANCUN	QUINTANA ROO	471966	CAJAS	39.00	173.33
				471967	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	
2	968	PLAZA BONITA	QUINTANA ROO	471968	CAJAS	101.82	452.53
				471969	AREA DE EJECUTIVOS	127.82	568.09
3	1015	CAMACO	QUINTANA ROO	471970	CAJAS	100.17	445.20
				471971	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA IV – SURESTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, URBAN Y O POBLACION	TIPO DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	hazaron2
1	346	OFICINA CENTRAL	TABASCO	471918	CAJAS	32.68	145.24
				471919	AREA DE EJECUTIVOS	33.91	150.71
2	351	TAMULTE	TABASCO	471920	CAJAS	28.42	126.31
				471921	AREA DE EJECUTIVOS	28.50	126.67
3	416	PLAZA CATEDRAL	TABASCO	471922	CAJAS	19.78	87.91
				471923	AREA DE EJECUTIVOS	18.35	81.56

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA IV – SURESTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, URBAN Y O POBLACION	TIPO DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	hazaron2
1	358	CENTRO TUXTLA	CHAMPAS	471925	CAJAS	34.30	152.44
							160.09
2	401	PLAZA CRISTAL	CHAMPAS	471926	CAJAS	36.02	133.82
3	1083	DEL PARQUE	CHAMPAS	471927	CAJAS	30.11	

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA IV – SURESTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, URBAN Y O POBLACION	TIPO DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	hazaron2
1	378	ITZMNA	YUCATAN	471942	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				471943	AREA DE EJECUTIVOS	<b>Perdido</b>	
2	1944	LAS AMERICAS	YUCATAN	471944	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				471945	AREA DE EJECUTIVOS	64.72	287.64
3	309	MERCADO CENTRO	YUCATAN	471946	CAJAS	75.87	337.20
				471947	AREA DE EJECUTIVOS	79.88	355.02
4	377	MERCADO	YUCATAN	471948	CAJAS	92.51	411.16
				471949	AREA DE EJECUTIVOS	73.87	328.31

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA V – SUR								
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Instrum2	
1	833	TUXTEPEC	OAXACA	471889	CAJAS	Faltan		
				471879	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan		
2	418	PLAZA DEL VALLE	OAXACA	471872	CAJAS	25.98	115.47	
				471873	AREA DE EJECUTIVOS	23.67	105.20	
3	1589	HUATULCO	OAXACA	471874	CAJAS	55.22	245.42	
				471875	AREA DE EJECUTIVOS	53.38	237.24	
4	1897	TULE	OAXACA	471876	CAJAS	28.31	125.82	
				471877	AREA DE EJECUTIVOS	33.83	150.36	

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA V – SUR								
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Instrum2	
1	334	JALAPA CENTRO	VERACRUZ	471892	CAJAS	Faltan		
				471893	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan		
2	336	VERACRUZ OFIC. CENTRAL	VERACRUZ	471894	CAJAS	27.36	121.60	
				471895	AREA DE EJECUTIVOS	37.57	166.98	
3	3031	ZMORA CENTRO	VERACRUZ	471896	CAJAS	Faltan		
				471897	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan		
4	345	MINATITLAN	VERACRUZ	471898	CAJAS	Faltan		
				471899	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan		
5	1017	ACAYUCAN	VERACRUZ	471900	CAJAS	30.99	137.73	
				471901	AREA DE EJECUTIVOS	24.66	109.60	

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VI – NORESTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Inactivom2
1	530	SAN JERMO	NUEVO LEON	4718M	CAJAS	43.90	195.11
				4718N	AREA DE EJECUTIVOS	42.90	190.93
2	249	LA MODERNA	NUEVO LEON	4718O	CAJAS	61.44	273.07
				4718P	AREA DE EJECUTIVOS	75.66	336.27
3	254	PADRE MER	NUEVO LEON	4718Q	CAJAS	42.51	188.93
				4718R	AREA DE EJECUTIVOS	47.04	209.07
4	528	MACERO ORIENTE	NUEVO LEON	4718S	CAJAS	33.07	148.98
				4718T	AREA DE EJECUTIVOS	32.80	145.78
5	731	MACRO PLAZA	NUEVO LEON	4718U	CAJAS	32.09	145.29
				4718V	AREA DE EJECUTIVOS	29.90	132.89
6	1090	HIPERMAT FELIX U. GOMEZ	NUEVO LEON	4718W	CAJAS	34.10	151.56
				4718X	AREA DE EJECUTIVOS	22.55	100.22

7	415	TORRES BRISAS	NUEVO LEON	4718Y	CAJAS	36.31	161.38
				4718Z	AREA DE EJECUTIVOS	52.29	232.40
8	426	CORTUO DEL RIO	NUEVO LEON	4719A	CAJAS	41.63	185.02
				4719B	AREA DE EJECUTIVOS	39.06	176.27
9	807	TECNOLÓGICO	NUEVO LEON	4719C	CAJAS	39.88	177.24
				4719D	AREA DE EJECUTIVOS	34.52	153.42
10	1832	VALLE VERDE	NUEVO LEON	4719E	CAJAS	49.55	220.22
				4719F	AREA DE EJECUTIVOS	44.03	195.69
RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VI – NORESTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Inactivom2
1	225	CENTRO EJECUTIVO	COAHUILA	4719G	CAJAS	Faltan	
				4719H		63.50	282.22
2	409	HIPERMART OTE	COAHUILA	4719I	CAJAS	Faltan	
				4719J	AREA DE EJECUTIVOS	55.07	244.76

3	455	SAN ISIDRO	COAHUILA	47098	CAJAS	35.76	158.93
				47097	AREA DE EJECUTIVOS	39.20	174.22
<b>RELACION DE UBICACION DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VI – NORESTE</b>							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Traccion2
1	273	BOULEVARD HDALGO	TAMALIPAS	47094	CAJAS	35.38	157.24
				47095	AREA DE EJECUTIVOS	23.66	105.16
2	796	UNIVERSIDAD	TAMALIPAS	47096	CAJAS	53.42	237.42
				47097	AREA DE EJECUTIVOS	70.02	311.20
3	957	SORANA TAMPICO	TAMALIPAS	47098	CAJAS	40.18	178.58
				47099	AREA DE EJECUTIVOS	34.22	152.09
4	1582	CENTRO HISTORICO	TAMALIPAS	47099	CAJAS	34.54	153.51
				47091	AREA DE EJECUTIVOS	41.16	182.93

<b>RELACION DE UBICACION DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VII – NOROESTE</b>							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Traccion2
1	201	CULACAN CENTRO	SINALOA	47090	CAJAS	39.53	175.69
				47094	AREA DE EJECUTIVOS	46.15	205.11
2	202	REVOLUCION	SINALOA	47095	CAJAS	56.10	249.33
				47096	AREA DE EJECUTIVOS	54.31	241.38
3	677	CABALLITO	SINALOA	47097	CAJAS	36.96	164.27
				47098	AREA DE EJECUTIVOS	41.71	185.38

<b>RELACION DE UBICACION DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VII – NOROESTE</b>							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Traccion2
1	150	VALDO DEL RIO	SONORA	47099	CAJAS	51.59	229.29
				47090	AREA DE EJECUTIVOS	58.07	254.09
2	892	MENDOZA	SONORA	47091	CAJAS	77.60	344.89
				47092	AREA DE EJECUTIVOS	82.70	367.56
3	1077	CENTRO	SONORA	47093	CAJAS	82.92	368.53
				47094	AREA DE EJECUTIVOS	88.48	393.24
4	1881	PTIC	SONORA	47095	CAJAS	92.93	413.02
				47097	AREA DE EJECUTIVOS	112.38	499.47

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VIII – OCCIDENTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	traces/cm2
1	284	AGUASCALIENTES CENTRO	AGUASCALIENTES	471001	CAJAS	86.34	383.73
				471002	AREA DE EJECUTIVOS	72.08	320.36
2	286	ORONVALACION	AGUASCALIENTES	471001	CAJAS	60.04	206.84
				471002	AREA DE EJECUTIVOS	19.05	84.67
3	417	PULGAS PANDAS	AGUASCALIENTES	471004	CAJAS	60.04	209.51

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VIII – OCCIDENTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	traces/cm2
1	152	MANDAYILLO	COLIMA	471001	CAJAS	38.08	109.24
2	172	COLIMA	COLIMA	471002	CAJAS	24.96	110.93
3	1961	SEVILLA DEL RIO	COLIMA	471004	CAJAS	59.43	264.13

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VIII – OCCIDENTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	traces/cm2
1	274	CENTRO LEON	GUANAJUATO	471070	CAJAS	22.23	96.80
				471076	AREA DE EJECUTIVOS	21.90	87.33
2	275	URBANA CENTRO	GUANAJUATO	471071	CAJAS	16.00	71.11
				471072	AREA DE EJECUTIVOS	19.96	88.71
3	412	ABASTOS LEON	GUANAJUATO	471073	CAJAS	41.45	184.22
				471074	AREA DE EJECUTIVOS	24.07	106.98
4	801	MIGUEL ALEMAN	GUANAJUATO	471075	CAJAS	46.07	204.76
				471076	AREA DE EJECUTIVOS	63.86	283.82
5	1983	PLAZA HIDALGO	GUANAJUATO	471077	CAJAS	42.74	189.96
				471078	AREA DE EJECUTIVOS	42.99	191.07

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VIII – OCCIDENTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Presion(m <sup>2</sup> )
1	100	OFICINA CENTRAL GUADALAJARA	JALISCO	471815	CAJAS	31.48	139.91
				471816	AREA DE EJECUTIVOS	23.05	102.44
2	108	JESUS	JALISCO	471817	CAJAS	39.90	177.33
				471818	AREA DE EJECUTIVOS	196.54	873.51
3	117	TOLSA	JALISCO	471820	CAJAS	43.72	194.31
				471821	AREA DE EJECUTIVOS	79.17	351.87
4	128	PROVIDENCIA	JALISCO	471822	CAJAS	56.02	248.98
				471824	AREA DE EJECUTIVOS	62.13	276.13
5	818	CHAMIZAL	JALISCO	471825	CAJAS	132.72	589.87
				471827	AREA DE EJECUTIVOS	185.69	825.29
6	232	EXHIBIDA	JALISCO	471828	CAJAS	30.90	137.60
				471829	AREA DE EJECUTIVOS	74.21	329.82

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VIII – OCCIDENTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	ITEM DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	Presion(m <sup>2</sup> )
1	290	MORELIA CENTRO	MICHOACÁN	471830	CAJAS	Sin autorización	
				471831	AREA DE EJECUTIVOS	Sin autorización	
2	300	MORELIA CHAPULTEPEC	MICHOACÁN	471832	CAJAS	83.97	373.20
				471833	AREA DE EJECUTIVOS	68.02	302.31
3	794	CAMPESTRE	MICHOACÁN	471834	CAJAS	Faltan	
				471835	AREA DE EJECUTIVOS	Faltan	
4	1963	IRRIGACION	MICHOACÁN	471836	CAJAS	32.48	144.36
				471837	AREA DE EJECUTIVOS	17.84	79.29

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VIII – OCCIDENTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	TIP DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	traces/cm2
1	287	SAN CARLOS	SAN LUIS POTOSI	47024	CAJAS	72.32	321.42
				47026	AREA DE EJECUTIVOS	90.40	401.78
2	288	SAN LUIS POTOSI CENTRO	SAN LUIS POTOSI	47027	CAJAS	103.70	460.89
				47028	AREA DE EJECUTIVOS	84.18	374.04
3	425	TANGAMANGA	SAN LUIS POTOSI	47029	CAJAS	31.98	142.13
				47030	AREA DE EJECUTIVOS	26.87	119.42
4	470	PLAZAS TERRAZAS	SAN LUIS POTOSI	47031	CAJAS	39.61	176.04
				47032	AREA DE EJECUTIVOS	34.11	151.60

RELACION DE UBICACIÓN DE DETECTORES DE GAS RADÓN ZONA VIII – OCCIDENTE							
NUMERO	NUMERO DE SUCURSAL	NOMBRE DE LA SUCURSAL	PLAZA, LUGAR Y O POBLACION	TIP DEL DETECTOR	AREAS INSTALADAS	Actividad (Bq/m <sup>3</sup> )	traces/cm2
1	289	EJERCITO	QUERETARO	47033	CAJAS	<b>Perdido</b>	
				47035	AREA DE EJECUTIVOS	41.52	184.53
2	370	QUERETARO CENTRO	QUERETARO	47036	CAJAS	120.45	535.33
				47031	AREA DE EJECUTIVOS	40.88	181.69
3	400	JARDINES	QUERETARO	47032	CAJAS	41.28	183.47
				47031	AREA DE EJECUTIVOS	38.84	172.62
4	404	ABASTOS QUERETARO	QUERETARO	47034	CAJAS	45.71	203.16
				47035	AREA DE EJECUTIVOS	49.12	218.31



# Bibliografía

- [1] K Amgarou. Long term measurements of indoor radon and its progeny in the presence of thoron using nuclear track detectors: a novel approach, 2002.
- [2] Rafael Angel BarbosaÑoriega. Estudio de los niveles de radón en la ciudad de México, 2004.
- [3] J. M. Barros-Dios, M. A. Barreiro, A. Ruano-Ravira, and A. Figueiras. Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: A population-based case-control study. *American Journal of Epidemiology*, vol.6, page 548, 2002.
- [4] Silvia Baulbulian. *La Radiactividad*. La ciencia para todos, Fondo de Cultura económica, México, 1996.
- [5] J.W. Baum. Comparison on distance and energy-restricted linear energy transfer for heavy particles with 0.25 to 1000mev/amu. *Proc. Second Symp. on Microdosimetry*, vol.1, page 653, 1970.
- [6] C.P Bean, M.V Doyle, and G. Entine. Etching of submicron pores in irradiated mica. *J. Appl. Phys*, vol.41, page 1454, 1970.
- [7] F. A. Bovey. *The effects of ionizing radiation on natural and synthetic*. Wiley-Intersciences, New York, 1985.
- [8] W. DeSorbo and J.S. Humphrey. Effects upon track etching rates in charged particle irradiated polycarbonate film. *Rad. Effects*, vol.3, page 281, 1970.
- [9] G. Espinosa, V.M. Castaño, and J.I. Golarri. Permeability of some materials to radon gas. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, vol.19, page 307, 1991.
- [10] G. Espinosa, J.I. Golarri, A. Angeles, and R.V. Griffith. National indoor workplace radon survey using nuclear track methodology. *En prensa*.

- 
- [11] G. Espinosa, J.I. Golzarri, R.B. Gammage, L. Sajo-Bohus, J. Viccon-Pale, and M. Signoret-Poillon. Seasonal variation measurements of radon levels in caves using ssntd method. *En prensa*.
- [12] G. Espinosa, L. Tommasino, R. Griffith, I. Gamboa, I Jacobson, and J.I. Golzarri. Uranium alpha spectroscopy and angular dependence for ssntd. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, vol.8, page 433, 1984.
- [13] G. Espinosa García. *Trazas Nucleares en Sólidos*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Física.
- [14] J. Fain, M. Monnin, and M. Mountret. Spatial energy-density distribution around heavy ion paths. *Rad. Research*, vol.57, page 379, 1974.
- [15] R. L. Fleischer, P. B. Price, and R. M. Walker. The ion explosion spike mechanism for formation of charged particle tracks in solids. *J. Appl. Phys*, vol.36, page 3645, 1965.
- [16] L. Garzón Ruipérez. *Radón y sus riesgos*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Oviedo, España, 1992.
- [17] H. H. Heckman, B. L. Perkins, W. G. Simon, and W. Smith. Ranges and energy loss processes of heavy ions in emulsions. *Phys. Rev*, vol.117, page 544, 1960.
- [18] R. Katz and E.J Kobetich. Formation of etchable tracks in dielectrics. *Phys. Rev*, vol.170, page 401, 1968.
- [19] Lao Kenneth Q. *Controlling Indoor Radon*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- [20] H.A Khan, N.A. Brandt, N.A. Khan, and K. Jamil. Critical angles of etching of cr-39 track detector. *J. Appl. Phys*, vol.35, page 111, 1984.
- [21] Enciclopedia Libre. átomo. [wikipedia.org/wiki/Atomo](http://wikipedia.org/wiki/Atomo), 2007.
- [22] Enciclopedia Libre. Modelos atómicos. [rincondelvago.com/modelos atomicos11](http://rincondelvago.com/modelos_atomicos11), 2007.
- [23] J. Lindhard and M. Schareff. Energy dissipation by electron beams and delta rays. *Phys. Rev*, vol.124, page 128, 1961.

- 
- [24] J. Lindhard and P.V. Thomsen. Sharing of energy dissipation between electronic and atomic motion in radiation damage in solids. *Vienna: Int. Atomic Energy Agency, vol.1*, page 66, 1962.
- [25] Juan José Llerena Cristobo. Medición de la concentración de gas  $^{222}\text{Rn}$  en el interior de edificios, 2006.
- [26] M.A. Misdaq and K. Flata. Radon and daughters in cigarette smoke measured with ssntd and corresponding committed equivalent dose to respiratory tract. *Radiation Measurements, vol. 37*, page 31, 2003.
- [27] Jose Luis Olivares Hernandez. Detección de radón sus descendientes y determinación del factor de equilibrio en casas habitación en la delegación alvaro obregón, 2001.
- [28] Jorge Rickards Campbell. *Las Radiaciones: Reto y Realidades*. La ciencia para todos, Fondo de Cultura Económica, México, 1997.
- [29] J. Soto, M. T. Delgado, P. Fernandez, P. Gómez, and L. S. Quindós. Niveles de  $^{222}\text{Rn}$  en el balneario de las caldas de besaya (cantabria). *Revista de Sanidad e Higiene Pública vol. 6*, page 71, 1991.
- [30] Naciones Unidas. Sources and effects of ionizing radiation. *Report of United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 2000*.