



47
2el.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

DETERMINACIONES DE RADON A CORTO Y
LARGO PLAZO EN LA DELEGACION DE TLALPAN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
VICTOR HUGO ELIZARRARAS ROSENDO



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	PROF. : GUILLERMINA BURILLO AMEZCUA
VOCAL	PROF. : LUIS CABRERA MOSQUEDA
SECRETARIO	PROF. : TRINIDAD MARTINEZ CASTILLO
1er SUPLENTE	PROF. : CARMEN TERESA MARTIN DEL CAMPO
2do SUPLENTE	PROF. : FERNANDO COLMENARES LANDIN

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA.

FACULTAD DE QUIMICA, EDIFICIO "D". SECCION QUIMICA NUCLEAR.

ASESOR DEL TEMA.

M. en C. TRINIDAD MARTINEZ CASTILLO



FIRMA

SUSTENTANTE.

VICTOR HUGO ELIZARRARAS ROSENDO



FIRMA

DEDICACIONES

A mis padres Angelina Rosendo Ruiz y Ernesto Elizarrarás Frausto por su apoyo y amor incondicionales.

A mis hermanos Ernesto, Eusebio, y Abraham por comprenderme y apoyarme en el transcurso de la licenciatura.

A mis abuelitos Luisa y Cro.

A mis tíos Tomas, Cesar y Beto por ser mis hermanos.

A mi tío Rogelio Rosendo R. por ser la persona que me ha inspirado a salir a delante.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la M. en C. Trinidad Martínez C. por asesorarme en el desarrollo del presente trabajo de tesis, el cual no hubiera sido posible sin sus consejos y atinadas observaciones.

Agradezco a el personal académico, administrativo y de laboratorio del Depto. de Química Inorgánica y Nuclear por su ayuda desinteresada.

Agradezco a todas aquellas personas que me permitieron realizar el monitoreo durante todo un año.

A Alejandra I., Yolanda G., Margarita R., Daniel C., David A., Jesús F y a todas aquellas personas que han sido parte importante de mi vida, por brindarme su amistad.

INDICE

	Página
Introducción.	1
Objetivos.	4
Alcance.	4
CAPITULO I	
El Radón.	
1.1 Propiedades químicas.	5
1.2 Propiedades físicas.	8
1.3 Fuentes naturales.	9
1.3.1 Exteriores.	9
Radón natural	
Minas	
1.3.2 Interiores.	11
Materiales de construcción.	
Suelo	
Agua	
Gas natural	
1.4 Comportamiento en el ambiente.	14
Emanación	
Difusión	
Exhalación	
1.5 Dispersión en aire.	17
1.6 Comportamiento en interiores.	19
1.7 Concentración de hijos del Radón.	20
Expresión de la concentración	
Adherencia	
Variaciones	
1.8 Dosimetría.	24
1.9 Medidas para reducir los niveles de Radón.	26
Construcción de nuevas casas	
a) Selección del sitio	
b) Modificación del sitio	
c) Construcción	
d) Ventilación	
e) Reduciendo niveles de Radón en casas habitación.	
CAPITULO II	
2.1 Estudio geográfico de la delegación de Tlalpan.	30

	Localización y límites	
2.2	Morfología.	30
2.3	Geología	32
2.4	Climas	33
2.5	Análisis de suelo	34
2.6	Características de la construcción. Hábitos y costumbres de los moradores	37

CAPITULO III

3.1	Introducción	41
3.2	El E-PERM	49
3.2.1	Características	
	El electret	
	Diseño del electret	
	Estabilidad del electret	
	Calibración del electret	
3.3	Cálculo de la concentración de Radón	52
3.4	Cámaras de iones	54
	Mediciones de Radón usando una cámara E-PERM tipo "L".	
	Tipos de E-PERMs	
3.5	Lector de electret (SPER-1)	57
	El SPER-1. lectura y manejo	
	Procedimiento para tomar lectura del voltaje.	
	Malfuncionamiento	
3.6	Rango dinámico y estimación de errores	59
3.7	Efectos de parámetros ambientales	61
	Temperatura	
	Humedad relativa	
	Corrección por elevación	
	Presencia de iones	
	Campos eléctricos externos	
	Radiación gamma	
	Torón en aire	
	Polvo externo	
3.8	Ventajas y desventajas	63
3.9	Monitor continuo de niveles de trabajo	64

CAPITULO IV

4.1	Características del muestreo	68
4.2	Control de calidad del CWLM	69
4.3	Resultados y análisis de resultados para el CWLM	75
	Cálculo de la concentración promedio.	
	Medidas por duplicado y medidas blanco	

4.4	Monitoreo de radiación y ambiental	99
4.5	Control de calidad para el E-PERM	102
4.6	Resultados y análisis de resultados para el E-PERM. Cálculo de la concentración de Radón con el E-PERM Análisis de duplicados	103
4.7	Determinación del factor de equilibrio	119
4.8	Predicción de la concentración promedio anual en interiores para la delegación de Tlalpan.	121
	Conclusiones	128
	Bibliografía.	131

INTRODUCCION

Radiactividad Ambiental.

La radiactividad proviene de fuentes naturales y antropogénicas, incluyendo materiales radiactivos en alimentos, casas y aire, materiales radiactivos usados en medicina, pruebas de armas nucleares en atmósfera abierta y materiales radiactivos utilizados en la industria y generación de energía

La radiactividad natural ha estado en contacto con el hombre desde su aparición y puede ser de tipo terrestre y extraterrestre (origen cósmico). Cerca de 340 núclidos son conocidos en la naturaleza, de los cuales 70 son radiactivos y se encuentran principalmente en los elementos pesados. Tres núclidos radiactivos son los principales componentes de la corteza terrestre: el ^{40}K Potasio, ^{238}U Uranio y ^{232}Th Torio.

El Potasio-40 tiene una vida media de 1.3×10^9 años y decae a través del Calcio-40 al Argón-40 estable. Este nuclido está presente en un 0.01% en el potasio natural, de este modo impartiendo una actividad específica de aproximadamente 800 pCi/g (3×10^4 Bq/Kg) de potasio. El potasio es un elemento esencial para el cuerpo humano, el cual contiene cerca de 0.1 μCi (3.7×10^3 Bq) del isótopo del elemento.

El Uranio-238 es el isótopo más abundante del uranio, decae a través de una cadena de 18 núclidos hasta el plomo-206 estable. Esta cadena incluye radionúclidos de 10 elementos pesados, la vida media varía de 4.5E9 años (uranio-238) a 1.64E-4 s (polonio-214).

Una importante característica de la cadena del uranio-238 es que incluye un gas noble radiactivo, ^{222}Rn , con una vida media de 3.8 días. El Rn emanado de la corteza de la tierra, se difunde dentro de la atmósfera, y a la larga decae a radionúclidos de plomo y polonio que eléctricamente se fijan por sí mismos al polvo normalmente presente en la atmósfera. La dosis de pulmón para los productos de los hijos del Rn colocados en el polvo atmosférico es más alta que la

dosis recibida por fuentes naturales en alguna otra parte del cuerpo. Los hijos del Rn son también una fuente natural de la lluvia radiactiva.

El Torio-232 tiene una vida media de 1.4E9 años y decae a través de una serie de 12 núclidos a un isótopo estable del plomo (^{206}Pb). La exposición humana a esta serie resulta por la energía de radiación y de talio-208.

Se sabe que el suelo y las rocas emiten radiación alfa, beta y gamma del uranio, torio y otros elementos radiactivos en la corteza terrestre.

Como se comentó, parte de la radiación ambiental viene del espacio en forma de radiación cósmica. Las principales fuentes de radiación se muestran en la tabla 1.1, de esta tabla podemos ver que los núclidos inhalados, primordialmente Rn y sus hijos son la mayor fuente de radiación para el tejido del cuerpo. La mayoría de esta dosis incluye a algunos radionúclidos como ^{40}K , ^{210}Pb , ^{238}U y ^{232}Th que por medio del polvo es enviado al epitelio bronquial. Otra dosis proviene de la comida y el agua que también contienen elementos radiactivos naturales.

Tabla 1.1 Dosis efectiva equivalente estimada.²⁴

Fuente	Dosis efectiva total equivalente (mSv/y)
Cósmica	0.27
Cosmogénica	0.01
Terrestre	0.28
Inhalada	2.0
Interna	0.40
Total	3

En la década pasada se desarrolló un gran interés por los riesgos debidos a la exposición del gas Radón. El más serio problema de salud está asociado con la inhalación de elevados niveles de este elemento, que con el tiempo es un riesgo para el desarrollo de cáncer. El peligro asociado al Radón es atribuido a la inhalación de los productos de decaimiento de corta vida del Radón, antes que el Radón mismo. Una correcta y precisa medición de este gas es crítica para determinar riesgos de salud debido a la presencia del Radón en el ambiente.

El Radón es un gas radiactivo que se encuentra en la naturaleza es incoloro, inodoro e insípido, por lo que se necesitan equipos especiales para detectarlo. En el presente trabajo se utilizaron dos diferentes equipos de medición el monitor continuo de niveles de trabajo (CWLM) y la cámara de iones E-PERM, siendo esta última de las más recientes

OBJETIVOS

- 1) Implementar un nuevo equipo (E-PERM) de medición de Radón en interiores
- 2) Determinar la concentración de Radón en el interior de casas habitación de la delegación de Tlalpan, utilizando dos equipos de medición diferentes
- 3) Comparar y evaluar la precisión y exactitud de las dos técnicas utilizadas
- 4) Determinar la concentración promedio anual a partir de modelos descriptivos del comportamiento del Radón con las lecturas del CWLM
- 5) Determinar la concentración promedio estacional y anual a partir de los datos obtenidos por el E-PERM
- 6) Comparar ambas concentraciones promedio anuales, analizando ventajas y desventajas

ALCANCE

Se lleva a cabo el monitoreo de Radón en el interior de 22 casas habitación de la delegación de Tlalpan utilizando el CWLM y el E-PERM. Las lecturas se realizan durante 24 horas y 3 meses por casa para el CWLM y E-PERM respectivamente.

Con el CWLM se determinó la concentración en las estaciones de verano y otoño de 1995 y para el E-PERM tomamos lectura desde el verano de 1995 hasta la primavera de 1996. Se realiza una comparación de las lecturas tomadas en verano y otoño de 1995 por ambos equipos. Además para las lecturas del CWLM se utilizan modelos descriptivos del comportamiento del Radón para evaluar la concentración promedio anual de Radón en base a los datos obtenidos en verano y otoño, comparando resultados con el promedio anual obtenido por el E-PERM.

Con el CWLM se determina la concentración de hijos de Radón. El factor de equilibrio necesario para determinar la concentración de Radón se mide con ambos equipos siendo este igual a 0.4098 en interiores.

CAPITULO 1

El Radón.

1.1 Propiedades Químicas.

Es el elemento número 86, pero generalmente se le refiere como el isótopo ^{222}Rn que es el producto de decaimiento del ^{226}Ra . Otros isótopos del Rn son ^{220}Rn y ^{219}Rn , que también son conocidos por torón y actinón respectivamente. El Rn tiene una vida media de 3.82 días y decae por emisión de partículas alfa por un isótopo del polonio (^{218}Po), el cual más adelante decae a través de isótopos del plomo, bismuto, polonio y talio, terminando la cadena de decaimiento del ^{238}U con el plomo estable (^{206}Pb). En la figura 1 se muestra la cadena de decaimiento del ^{238}U .

Este elemento es químicamente inerte. Proviene del decaimiento del Ra el cual se encuentra en el suelo y otros materiales comunes. Parte del Rn producido se difunde dentro de ambientes envolventes. Teniendo aproximadamente un metro de construcción por debajo de las estructuras, los isótopos del Rn pueden alcanzar el ambiente interior. De la misma manera mucho del ^{222}Rn formado dentro de un metro de tierra en su superficie, logra alcanzar la atmósfera exterior, aunque este tiene menor significancia radiológica que el de interiores. Los cuales tienen volúmenes relativamente pequeños comparados con la contribución del material fuente.

Una característica principal del Rn que le da más significancia radiactiva, es el hecho de que es un gas noble. Como tal una vez formado en un material que contiene Radio, el átomo de Rn es relativamente libre al movimiento. Una vez en el espacio del poro, el transporte macroscópico del Rn es posible, ya sea por difusión molecular o por flujo del fluido en el espacio del poro. Por eso el Rn puede alcanzar el aire o agua a el cual los humanos tienen acceso, con tal de que el transporte sea suficientemente rápido para ser completado antes de la formación de los productos de decaimiento.

Fig. 1 Cadena de decaimiento del ^{238}U .

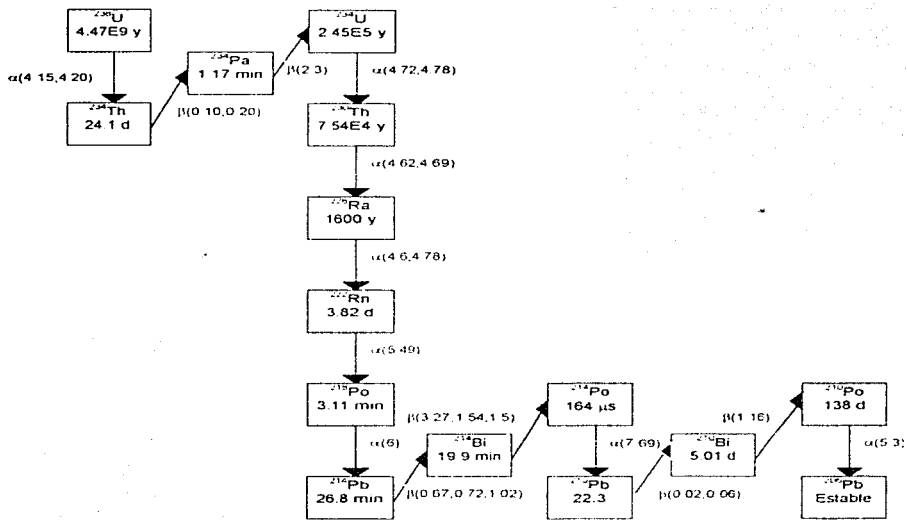
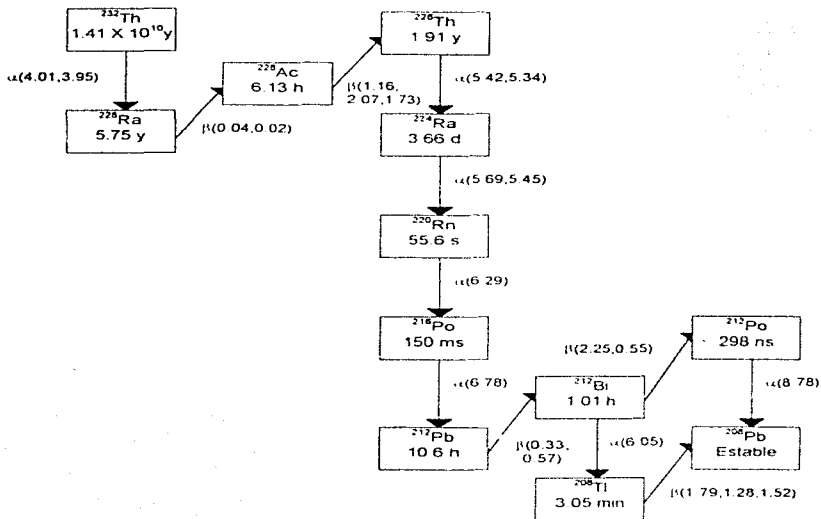


Fig. 2 Cadena de decaimiento del ^{232}Th .



En contraste el ^{220}Rn (Thorón) es formado por el decaimiento del ^{224}Ra , un miembro de la cadena de decaimiento del ^{232}Th (figura 2¹⁹), de menor alcance al aire por su corta vida media (56s) que limita la distancia que puede recorrer antes de decaer.

Finalmente muy pocos radioisótopos del ^{219}Rn están presentes en el aire porque el decaimiento del ^{235}U , del cual es miembro, tiene una abundancia natural menor de 100% y porque la vida media del ^{219}Rn es corta (4s)

La segunda característica del Rn es que decae a radionúclidos que son químicamente activos y de relativamente vida media corta. Los 4 radionúclidos siguientes al decaimiento del ^{222}Rn tienen vidas medias menores de 30 minutos. En el caso del ^{220}Rn , este transporta una serie de isótopos de corta vida, la más importante dosis surge de la inhalación del ^{214}Pb el cual tiene una vida media de 10.6h⁸

La radiación liberada en el decaimiento de los productos de vida corta proporciona la dosis pulmonar, la cual ha incrementado el riesgo de cáncer pulmonar. Los hijos del ^{222}Rn son ^{218}Po (3.05m), ^{214}Pb (26.8m) ^{214}Bi (19.7m), los cuales pueden unirse a los aerosoles en el aire y si se inhalan son parcialmente depositados en el sistema respiratorio humano. La dosis de radiación causada por los hijos del Rn en el aire, constituye la principal parte de la dosis de radiación natural para el hombre. La dosis de radiación causada por el Rn mismo es menor a la de los hijos del Rn⁷

1.2 Propiedades Físicas.

El Rn es un gas incoloro con una densidad de 9.73 g/L, bajo condiciones standard haciéndolo el gas más pesado en la naturaleza. Cuando es enfriado abajo de su punto de congelamiento, el Rn obtiene una fosforescencia brillante, la cual cambia a amarilla a bajas temperaturas y rojo-naranja a temperatura de aire líquido. Algunas propiedades físicas se muestran en la tabla 1.2. El Rn es fácilmente absorbido en carbón, sílica gel y sustancias semejantes, propiedad que

sirve para separarlo de otros gases. Además puede ser removido de una muestra de aire por colección sobre carbón activado, enfriado a la temperatura del CO₂ sólido (-78.5°C) y es desorbido del mismo a 350°C.

Tabla 1.2 Propiedades físicas del ²²²Rn. Fuente.²⁴

PROPIEDADES	
Densidad a 0°C y 1 atm	9.73 g/L
Punto de fusión, normal a 1 atm	-62°C
Densidad del líquido al punto de fusión normal	4.4 g/cm ³
Coefficiente de difusión al aire libre	0.1 cm ² /seg
Viscosidad a 1 atm y 20°C	229 μp
Presión crítica	62 atm
Temperatura crítica	105°C
Solubilidad en varios líquidos a 1 atm y 18°C	
Glicerina	0.21 cm ³ /kg líquido
Alcohol etílico	7.4 cm ³ /kg líquido
Petróleo (parafina líquida)	9.2 cm ³ /kg líquido
Tolueno	13.2 cm ³ /kg líquido
Aceite de olivo	29.0 cm ³ /kg líquido

1.3 Fuentes naturales.

1.3.1 Exteriores.

Radón natural.

La principal fuente de Rn en el exterior es el Ra en la corteza de la tierra. La concentración de uranio y radio en el suelo varía con el tipo de roca y minerales. La concentración del Rn en rocas y suelo es frecuentemente (pero no siempre) como la del uranio. Una disolución fraccionada y transporte de ²³⁴U y/o radio puede causar rompimientos en la cadena del uranio.

La cantidad total de radio en los 10 km exteriores de la corteza terrestre es del orden de 10²⁴ Bq. La mayor parte de Rn producido por decaimiento del Ra es físicamente atribuido al comportamiento del Ra al material productor de radio y solo una pequeña parte se difunde fuera en el aire. Otras fuentes de Rn de menor

magnitud, pero no menor importancia son las plantas, agua subterránea, océanos etc.

Las fuentes de contribución a la cantidad total de Rn se muestran en la tabla 1.3. Se asume que la razón de exhalación de Rn del suelo es de $0.02 \text{ Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y de los océanos es de $70 \mu\text{Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. El total de la proporción de la producción de este gas es del orden de 10^{20} Bq/a

Tabla 1.3 Fuentes de Rn en la atmósfera.⁷

Fuente	Producción de Rn por año (Bq)
Suelo	9×10^{19}
Plantas y agua subterránea	$< 2 \times 10^{19}$
Océanos	9×10^{17}
Gas natural	3×10^{14}
Carbón	2×10^{13}

Minas.

Fuentes de Rn de interés incluyen los residuos de minas de uranio y fosfatos y estaciones de energía geotérmica. La velocidad de exhalación del Rn de residuos depende del contenido de radio de estos, del factor de emanación (liberación fraccionada del Rn). La velocidad de exhalación de los residuos de uranio descubiertos varía de $0.5 \text{ Bq m}^{-2} \text{ sg}^{-1}$ ó menos a $10 \text{ Bq m}^{-2} \text{ sg}^{-1}$ ó más. El espesor y área de los residuos por unidad de masa de uranio en mineral, puede variar dependiendo del manejo de los residuos y debido a esto la velocidad de exhalación del Rn varía de $10\text{-}100 \text{ Bq/s}$ por $\text{MW}(e)/\text{a}$. Al cubrir los residuos con algunos metros de suelo la velocidad de exhalación se reduce en varias magnitudes. Estaciones de energía geotérmica pueden causar liberación de Rn hacia el aire, debido a la despresurización del agua en la superficie.

Las fuentes de Rn en espacios subterráneos como minas son el Ra en las rocas y minerales de la mina y el Rn en el agua. La emanación total del gas dentro de las minas depende de muchos factores

- La concentración de uranio-radio del mineral
- El número y tamaño de grietas en el mineral
- La exposición prolongada al sol de espacios abandonados
- La concentración de Rn y cantidad de agua
- La exposición prolongada del agua al sol y
- Los principios del sistema de ventilación

Para un rango normal de velocidad de ventilación total (10-1000 m³/s) y una concentración de Rn total (0.1-10 kBq/m³), el rango de Rn liberado dentro de la mina puede ser estimado de 1-10⁴ kBq/s. Existe una proporcionalidad inversa entre la concentración del Rn y la velocidad de ventilación, a bajas velocidades de ventilación se eleva la concentración de Rn y viceversa.

Existen liberaciones al aire exterior que pueden ser comparadas a las emitidas por desechos descubiertos. Minas de 100 ton de uranio/año resultan en 5000-15000 m² de desechos al año, dependiendo del porcentaje del uranio en el mineral y el manejo de desecho. La liberación de Rn sera en el rango de 1-10 kBq/s. En minas sin uranio la principal fuente de Rn es el agua. La concentración del agua puede estar en el rango de 100-1000 kBq/m³.

1.3.2 Interiores.

El Rn en casas proviene de

- Materiales de construcción
- El suelo bajo la casa
- El agua.
- El gas doméstico

Materiales de construcción.

Las concentraciones de Ra en los materiales de construcción se han investigado. Los datos indican que algunos materiales como el concreto aereado con alumbre y el fosfo-yeso de minerales sedimentarios, tienen concentraciones más altas de Ra que otros, provocando la acumulación del Rn en interiores. Si esos materiales son excluidos, el promedio de las concentraciones de Ra en materiales de construcción es aproximadamente 100 Bq/kg. Materiales con baja actividad son la madera, el yeso natural, arena y grava. La velocidad de exhalación del Rn de paredes, pisos y techos, depende de la concentración de Ra, la energía y la emanación, el coeficiente de difusión en el material y la calidad y espesor de algún recubrimiento sobre la superficie.

La velocidad de exhalación del Rn en materiales de construcción descubiertos varía en magnitudes cercanas a 10^{-6} Bq/m² s. Placas de yeso, fibra y ladrillos de $(0.1-10) \times 10^{-3}$ Bq/m² s para concreto de diferentes orígenes y calidades.

Suelo.

La contribución del Rn del suelo hacia las construcciones depende del espesor y densidad de la base de la estructura. La exhalación del suelo es del orden de 10^{-2} Bq/m² s y un piso de concreto en el sótano normalmente reduce la exhalación del Rn del suelo hacia la construcción por un factor de 10 o más. El Rn del suelo contribuye en la concentración de Rn, principalmente en sótanos y casas de madera.

El Rn del suelo puede entrar a la vivienda por dos mecanismos de transporte: difusión molecular y convección. Estudios realizados han demostrado que la convección produce niveles altos de Rn en el interior.

La difusión molecular es el movimiento de una especie molecular que va desde una área de alta concentración a una de baja concentración (a presión constante).

El movimiento es causado por el movimiento térmico de las moléculas. Esto indica que la difusión no es una causa probable de altos niveles de Rn en interiores.

La convección de gases es el movimiento de una especie molecular de una área de alta presión a una de baja presión. Por esta razón el movimiento de convección es también conocido como el empuje o flujo de la presión. Como la presión dentro de una casa es más baja que la presión fuera de ella, el Rn en el suelo entrará a la casa por el empuje o flujo producido por la presión.

El flujo de presión está influenciado principalmente por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior así como por el uso de mecanismos de ventilación, como ventiladores y sopladores. En invierno al calentarse la casa, la temperatura en el interior es más alta que la temperatura en el exterior, la ligereza del aire más caliente en el interior crea una tendencia a que el aire del interior sea desplazado por el aire más frío del exterior. Esta tendencia es llamada efecto chimenea, por ser este efecto similar al movimiento del aire que ocurre en una chimenea. A causa de este efecto el Rn que se encuentra en el suelo es atraído al interior de las casas por la baja presión en los muros y pisos.

Agua.

Como se comentó anteriormente el agua es otra fuente de Rn y su relativa liberación depende del uso del agua. El calentamiento y agitación del agua incrementa la liberación del Rn. Ocurre en los cuartos de lavado, regaderas y cocinas. El resultado de la concentración de Rn en una casa depende de la cantidad de agua usada, el volumen de la casa y la ventilación. Frecuentemente se realizan mediciones en áreas con sospechosas concentraciones, debido a la existencia de depósitos de uranio. La más importante ruta de exposición de Rn para el agua de beber es la ruta de inhalación, la menor exposición se presenta al ingerir el agua o bebidas. Se estima que la concentración de Rn liberado al aire por el agua es 1/10,000 parte, la concentración de Rn en agua es decir si la

concentración de Rn en el agua es 10.000 pCi/L, un promedio de 1 pCi/L de la concentración del aire es su contribución.

La EPA ha propuesto una nueva regulación a la cantidad de ^{222}Rn disuelto en agua de 11Bq/L (300 pCi/L) en suministros públicos de agua para beber.

Gas natural.

El gas natural también se considera una fuente de Rn en casas. El gas es transportado como gas purificado en largas líneas de transmisión y distribuida a los hogares o embotellado bajo presión como propano para venderlo como gas de petróleo licuado (LPG). La concentración de Rn en gas natural en los pozos de producción se encuentra en valores no detectables cercanos a 40 kBq/m^3 . Durante el suministro, tránsito, almacenamiento y envío la concentración de Rn disminuye a un promedio del orden 1 kBq/m^3 para ambos gas natural y LPG (U.S.A.)

1.4 Comportamiento en el ambiente.

Emanación.

El mecanismo de liberación de Rn de las rocas, suelo y otros materiales no es muy fácil de entender y probablemente no siempre es el mismo. Los principales fenómenos físicos son retroceso y difusión del átomo de Rn a través de imperfecciones de la estructura cristalina de la partícula de Ra seguida por una difusión secundaria, la cual depende de la porosidad del material. La alta porosidad aumenta la velocidad de difusión.

La velocidad de liberación de un material depende de su humedad. Si el contenido de humedad es muy bajo la liberación del gas es disminuida por efecto de la reabsorción de los átomos de Rn en la superficie de los poros. Si la

humedad aumenta un poco, la liberación de Rn aumenta, pero si los poros se saturan de agua vuelve a disminuir la difusión del gas

Por el contrario bajo condiciones secas el ancho y la frecuencia de las fracturas aumenta en la parte exterior del subsuelo permitiendo así un mayor intercambio desde el suelo hacia la atmósfera. Al mismo tiempo el coeficiente de difusión granular aumenta al disminuir el contenido de humedad, permitiendo un aumento en la velocidad de migración de Rn desde el material sin fracturar hacia el material fracturado. Es de esperarse un aumento en la migración de Rn durante los períodos secos del año.

La concentración promedio mensual de los descendientes de Rn, se ha encontrado que se relaciona con la humedad contenida en el suelo. Variaciones en la humedad del suelo modifican la concentración de descendientes de Rn por un factor de seis aproximadamente.

Difusión.

Una vez que el Rn ha entrado al aire o agua que envuelven la partícula de Ra, es transportado por difusión, flujo por convección y flujo mecánico de la tierra, filtración de agua de lluvia y flujo de agua subterránea. El mecanismo de difusión puede ser expresado por la ecuación

$$C_x = C_0 \text{ EXP } (-X \sqrt{D/\lambda})$$

donde

C_x , es la concentración de Rn a una distancia x en aire o agua de la superficie de emanación

C_0 , es la concentración de Rn de la superficie

D , es el coeficiente de difusión

λ , es la cte de decaimiento

La constante de difusión D es cercana a 10^{-2} cm^2/s en aire y 10^{-6} cm^2/s en agua. Esto significa que le toma sobre un promedio de 13 días a un átomo de Rn, difundirse 5 m en aire ó 5 cm en agua. En ese tiempo el Rn decaería por casi un

factor de diez. El transporte de Rn a largas distancias en aire ó agua depende de los mecanismos mencionados antes, los cuales son las corrientes de aire y agua.

Exhalación.

La concentración de Rn (Cz) en el aire del suelo a una profundidad (Z) bajo la superficie, depende del coeficiente de difusión (D), el factor de emanación (a), (0<a<1). El espacio del poro del suelo (f), la concentración activa del Ra (Cr) (por unidad de volumen del suelo) y la cte de decaimiento del Rn (λ). De tal manera que tenemos la siguiente ecuación:

$$Cz = \frac{a \cdot Cr}{f} (1 - \text{EXP}(-\sqrt{\lambda/D} Z))$$

La velocidad de exhalación es expresada por la ecuación

$$R = D \left. \frac{d(Cz)}{dz} \right|_{z=0}$$

La combinación de las dos ecuaciones anteriores da

$$R = \frac{1}{f} a Cr \sqrt{\lambda/D}$$

La velocidad de difusión del mismo modo que la velocidad de exhalación es afectada por factores meteorológicos como precipitaciones, nevadas, congelamiento y variaciones en la presión atmosférica. Un incremento en estos parametros disminuirá la proporción de exhalación. Valores de Rn para el suelo varían entre 0.0002 y 0.07 Bq/m²s. La exhalación de Rn del agua de mar por unidad de área y tiempo es cercano por dos órdenes de magnitud menos.

1.5 Dispersión en aire.

La dispersión del Rn en el aire es influenciada por:

- Gradiente vertical de temperaturas.
- Dirección y fuerza del viento
- La turbulencia del aire.

La dispersión de los hijos del Rn es también afectada por la precipitación. La distribución vertical del Rn y sus hijos en aire se puede calcular utilizando las siguientes ecuaciones diferenciales

$$\frac{d}{dz} (k \frac{C_1}{dz}) - \lambda_1 C_1 = 0$$

$$\frac{d}{dz} (k \frac{C_i}{dz}) + \lambda_{i-1} C_{i-1} - (\lambda_i + \Lambda) C_i = 0$$

donde

C_1 , es la concentración de los átomos de Rn en el aire a una altura z .

n_i , es la concentración del hijo del Rn i en el aire, a una altura z .

λ_1 , es la cte de decaimiento del Rn

λ_i , es la cte de decaimiento del hijo i del Rn

Λ , es la velocidad de remoción del hijo del Rn, causada por el lavado o arrastre de la lluvia

Las condiciones límite para las ecuaciones anteriores son

$$C_i(z=0) = 0 \quad \text{para } i = 1 \quad \text{y} \quad C_i(z \rightarrow r) = 0 \quad \text{para } i = 1, 2, 3.$$

Al nivel del piso la variación-tiempo de la concentración de Rn depende de la velocidad de exhalación del Rn y de la dispersión vertical del Rn. El efecto de incremento de dispersión vertical de Rn por turbulencia durante la primavera,

comparado con otoño, pesa más que la velocidad de exhalación durante la tarde de primavera y verano.

El efecto es una variación estacionaria de la concentración de Rn a nivel del suelo con un mínimo en la primavera y verano, y un máximo en otoño y invierno. Variaciones diurnas de la concentración de Rn en el aire a nivel del piso ocurren por las diferentes mezclas de turbulencia las concentraciones son máximas por la mañana y mínimas por la tarde. Las variaciones son generalmente menores de un orden de magnitud. Las concentraciones estimadas a diferentes distancias dependen de las condiciones meteorológicas, lo accidentado del terreno, etc. La dispersión de Rn liberado de fuentes extendidas como molinos de cola pueden ser estimados de fórmulas de dispersión asumiendo una fuente extendida que consiste de un número de pequeñas fuentes puntuales. La concentración relativa de Rn liberado de una fuente puntual es inversamente proporcional a la energía y a la distancia de la fuente. Si la concentración C_1 a la distancia d es expresada para la concentración C_0 a la distancia de referencia d_0 , la expresión es

$$C_0 = \left(\frac{d_0}{d} \right)^p C_1$$

Esta fórmula da una aproximación de la concentración relativa a distancias mayores de 1 km si la distancia de referencia $d_0 = 1$ km y $p = 1.2-1.5$.

La dispersión y distribución vertical relativa de los hijos del Rn significa seguir el comportamiento del Rn. Debido a desviaciones en los parámetros atmosféricos para los hijos del Rn, existe un equilibrio entre los hijos y el Rn y entre los diferentes hijos del Rn. Los productos de decaimiento de larga vida del Rn (^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po) se comportan en la troposfera como aerosoles con tiempos de residencia del orden de 10 días ó más. Por su larga vida media no hay correlación entre estos núclidos y el Rn.

1.6 Comportamiento en interiores.

Para lugares cerrados, puede ser establecida una correlación teórica entre la concentración del Rn en el aire y el Rn que entra (exhalación y transporte del aire entrante) y velocidad de ventilación. El cambio de la concentración de Rn en el interior está dado por la siguiente ecuación

$$\frac{dC(t)}{dt} = R \left(\frac{S}{V} \right) + \frac{A_k}{V} + C_o \lambda_v - C(t) (\lambda + \lambda_v)$$

donde

$C(t)$, es la concentración de Rn en el aire al tiempo t

R , es la velocidad de exhalación de Rn de la unidad de superficie en el cuarto

S , es el área de la superficie de emanación

V , es el volumen del espacio

A_k , es la liberación de Rn de la fuente (agua, gas)

C_o , es la concentración de Rn en el aire entrante

λ_v , es la velocidad de ventilación (h^{-1}) y

λ , es la cte de decaimiento del Rn

al equilibrio la concentración de Rn es

$$C_o = \frac{R \left(\frac{S}{V} \right) + \frac{A_k}{V} + C_o \lambda_v}{\lambda + \lambda_v}$$

en casas $0.1 < \lambda_v < 3 h^{-1}$ y desde $\lambda = 7.6 E-3 h^{-1}$ y $\lambda_v \gg \lambda$, la ecuación anterior toma la forma

$$C_o = \frac{R \left(\frac{S}{V} \right) + \frac{A_k}{V}}{\lambda_v} + C_o$$

Mientras $\lambda_v \gg \lambda$ y C_0 es despreciable, la concentración de Rn en interiores aumenta en proporción directa a la disminución de la velocidad de ventilación. Como la velocidad de ventilación incrementa de 0 a 0.1 y a 1h^{-1} , la concentración de Rn decrece por factores de 13 y 10 respectivamente.

La fuerte influencia de la velocidad de ventilación provoca cambios en los niveles de Rn, conforme cambia la ventilación efectiva. Esto es causado por cambios meteorológicos (viento, presión, temperatura) y por actividades humanas como abrir puertas y ventanas. Existen variaciones en la concentración del Rn en el aire, causadas por cambios en la velocidad de exhalación de Rn en las superficies. Las cuales pueden ser causadas por cambios de presión atmosférica. Se han realizado mediciones de largo plazo para estudiar las variaciones diurnas en los hogares y estas pueden ser del orden de 10 ó más. La máxima durante la noche y en las mañanas, y la mínima al medio día es lo más frecuente.

En minas y en otros espacios subterráneos también existen variaciones estacionales de la concentración de Rn. Las variaciones diurnas son por lo regular menores si la ventilación es constante, para las variaciones de estación puede ser mayores con una máxima durante el verano y mínima durante el invierno. Esto es por el cambio de invierno a verano, en el gradiente de temperaturas de entrada y salida de la mina.

1.7 Concentración de hijos del Rn.

Expresión de la concentración.

La concentración de los hijos del Rn puede ser expresada en términos de su actividad o de su potencial de energía α . Lo último ha sido definido como el total de la energía α emitida durante el decaimiento de los átomos presentes hasta el ^{210}Pb . Para cualquier mezcla de hijos de Rn en el aire, el potencial de energía α es la suma del potencial de energía de todos los átomos de hijos en el aire. Una unidad de exposición usada en minas es el Working Level (WL). Está definido

como alguna combinación de los hijos del Rn de corta vida por litro de aire que resultara en la emisión de $1.3 \cdot 10^5$ MeV de energía α en su decaimiento a ^{210}Pb

Otro tema de interés en relación a los hijos del Rn es el factor de equilibrio F, definido como el cociente del total de energía α dada por la concentración de los hijos por el potencial total de energía α de los hijos, si hay un equilibrio con el Rn. Si se trabaja con WL, F se calcula por

$$F = \frac{a \cdot C_a}{C_r}$$

donde

C_a , es la concentración potencial de energía alfa en WL de los hijos del Rn

C_r , es la concentración de la actividad del Rn en Bq/L y

a , es una constante ($a = 3.7 \text{ BqL}^{-1}/\text{WL}$)

Para un cuarto con una velocidad de ventilación λ_v (cambios de aire por hora) es posible calcular el factor F. La relación entre F y λ_v se muestra en la fig. 3

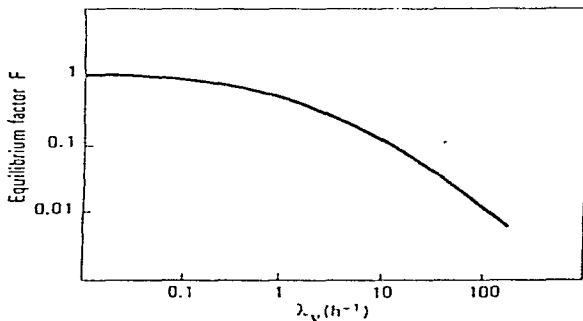
El producto de $C \times F$, donde C es la concentración de Rn y F es el factor de equilibrio es llamado concentración equivalente en equilibrio del Rn. Corresponde a una concentración de Rn para la cual los hijos del Rn en equilibrio con el Rn tienen el mismo potencial de energía alfa como la concentración actual de los hijos de interés

Adherencia.

Los hijos del Rn en el aire pueden estar libres (átomos o iones) o adheridos a aerosoles. El primer hijo ^{218}Po es a su tiempo de formación un ion suelto o un átomo neutro. Pero en algunos segundos la mayoría del ^{218}Po se adhiere a un aerosol y el subsecuente decaimiento produce al ^{214}Po y al ^{214}Bi . Debido a esto la velocidad de adherencia de un hijo de Rn libre depende del número y tamaño de la distribución de los aerosoles en el aire. Estos parámetros varían en las habitaciones y afectarán la velocidad de adherencia.

En una casa con una concentración normal de aerosoles (aprox 10^4cm^{-3}) y de tamaños de distribución, la velocidad de adherencia será aproximadamente 10 s^{-1} , la vida media de los hijos del Rn será aproximadamente 100seg. En una mina con altas concentraciones de aerosol los valores podrán ser cercanos a 0.3 seg^{-1} y 4seg respectivamente

Fig. 3 Factor de equilibrio como una función de ventilación $\lambda_v (\text{h}^{-1})$.



Los hijos del Rn también se adherirán a las superficies del cuarto. La velocidad de deposición de estos depende de la velocidad de difusión de los aerosoles y de la proporción entre el área de la superficie y el volumen del cuarto. Si esa proporción es 2m^{-1} , la vida media de los hijos del Rn adheridos es del orden de una hora. Los hijos del Rn tienen una mayor velocidad de difusión que los

aerosoles y por eso la velocidad de deposición es alta. La correspondiente vida media es del orden de un minuto.

La fracción de hijos libres en el aire de una habitación también depende del decaimiento radiactivo y la velocidad de ventilación. Con dichos valores de velocidad de adherencia y átomos libres la velocidad de deposición de átomos libres en el aire, aumenta con el incremento de la constante de decaimiento y velocidad de ventilación. Esto quiere decir que la fracción de los átomos de ^{218}Po libres ($\lambda = 13.6 \text{ h}^{-1}$) es normalmente más alta que la del ^{214}Pb ($\lambda = 1.6 \text{ h}^{-1}$).

Variaciones de equilibrio.

La ventilación y deposición en superficies, ambos evitan que los hijos del Rn alcancen el equilibrio con el Rn en el aire. Solo la dependencia del factor de equilibrio F, de la velocidad de ventilación fue considerada en la fig. 3. Con respecto a los valores de la deposición estos son frecuentemente más bajos que los mostrados en la fig. 3. La desviación es muy grande con bajas concentraciones de aerosol.

Mediciones realizadas en casas muestran una gran variación principalmente a diferentes condiciones de ventilación. Se adopta un valor promedio de F en casas de 0.5. En el aire exterior el factor de equilibrio también depende de factores meteorológicos se considera un valor promedio de 0.6 (UNSCEAR). Para una mina con buena ventilación, un factor de 0.3 puede ser utilizado.

Transferencia al hombre.

Como se ha comentado el contacto que existe con el Rn y los hijos del Rn, se debe a la inhalación del aire. Una cantidad muy pequeña viene del decaimiento del Radio en alimentos y agua ingerida. Se le presta mayor atención a la dosis que se absorbe de los hijos del Rn en el aire.

La cantidad de hijos de Rn inhalados, depende de lo elevado de la concentración en el aire y de la velocidad de respiración. La velocidad de respiración varía con los diferentes niveles de actividad física y la edad. Para el adulto el promedio de velocidad de respiración es 20 L/min durante actividad ligera, 7.5 L/min descansando y 12.5 L/min para actividad intermedia.

Para obtener el promedio de la velocidad de aire absorbido se asume que el tiempo gastado en interiores por día (19 h) consiste de 5.5 h, para baja actividad, 8 h descansando y 5.5 h de actividad intermedia. Esto da estimados de velocidades de consumo de aproximadamente 15 m³/d en interiores y 5 m³/d en exteriores.

La deposición de los hijos del Rn en el sistema respiratorio depende de la distribución de tamaño de los aerosoles a los cuales se adhieren y de la fracción de los hijos del Rn libres. La deposición es también influenciada por la forma de respirar. Los hijos del Rn son depositados en la región pulmonar. Sin embargo la deposición no es del 100%. Algunos son exhalados y algunos transportados por la mucosa antes del decaimiento. Estamos hablando de aproximadamente un 50% que se logra retener, pero se han reportado variaciones mayores.

1.8 Dosimetría.

La dosis del gas Rn en el aire es mínima en comparación con la de los hijos, la contribución relativa del Rn a la dosis equivalente puede ser significativa. La inhalación de los hijos del Rn da lugar a la irradiación no homogénea del sistema respiratorio. La dosis máxima es recibida por las células basales en el epitelio de la parte superior del bronquio en la región traqueo bronquial del pulmón debido a la deposición de los hijos del Rn libres. La mayoría de ellos logran depositarse en la región pulmonar.

Jacobi ha calculado la dosis de hijos de Rn en la región traqueo-bronquial del pulmón (masa asumida 45g) y para la región pulmonar (955g) como una función de la fracción libre, f , de energía potencial alfa. Las fracciones de energía

absorbidas son $0.3(1+f)$ joule en la región traqueo bronquial por joule inhalado y $0.38(1-f)$ joule en la región pulmonar por joule inhalado.

Un valor de la fracción f , no adherida de los hijos del Rn en el aire es por lo regular en promedio de 0.02 a 0.1. Para un valor medio de 0.06, la dosis absorbida en los pulmones es 0.9Gy por joule inhalado en la región traqueo bronquial y 0.4Gy por joule inhalado en la región pulmonar.

Las contribuciones a la dosis efectiva equivalente de los pulmones por unidad de energía inhalada son 1.1 Sv/J(región traqueo bronquial) y 0.5 Sv/J(región pulmonar). Se han comparado varios modelos dosimétricos llevando a cabo un ajuste de estos datos. Se considera un valor de 1.6 Sv/J inhalado para ser usado para el total de la dosis efectiva equivalente en los pulmones aplicable a exposiciones en interiores y exteriores y también para exposiciones en minas.

La dosis equivalente efectiva causada por inhalación de Rn sin los hijos a una concentración de 1 Bq/m^3 es cercana a $7 \times 10^{-7} \text{ Sv/a}$. Esto es cercano a un porcentaje de la dosis equivalente efectiva causada por la inhalación de los hijos del Rn en equilibrio con el Rn.

El Rn en agua puede causar una dosis de radiación al hombre por ingestión de agua y por la inhalación de los hijos del Rn, producidos por el decaimiento del Rn liberado al aire. El consumo de 0.5 l/día de agua rica en Rn con una concentración de 1 kBq/L, conducirá a una dosis equivalente efectiva de 0.5 mSv/a por ingestión.

Se han realizado mediciones en diferentes partes del mundo. Los niveles encontrados en el aire exterior varían de 0.1 a 10 Bq/m^3 , se han encontrado valores bajos en océanos y islas, por el contrario los valores altos en los continentes.

En casas los niveles de Rn pueden ser altos debido a los materiales de construcción ricos en radio y/o ventilación pobre. Sin embargo valores normales son del orden de 10 Bq/m^3 .

1.9 Medidas para reducir los niveles de Radón.^{6,17}

Construcción de nuevas casas.

Los dueños y constructores de una nueva casa, pueden tomar decisiones para seleccionar un sitio en particular y utilizar ciertas técnicas durante la construcción que minimicen la entrada del Rn

a) Selección del sitio.

Se debe llevar a cabo un estudio geológico del terreno. Las rocas de granito son las que tienen mayor concentración de uranio, y este tiene afinidad química por fosfatos y las rocas fosfóricas, así como por las rocas de carbonato. La construcción sobre sitios con subsuelos de arcilla garantiza que los niveles de Rn estarán dentro de los rangos permisibles, probablemente porque tenga un potencial de emanación más bajo que un subsuelo de arcilla/grava. También se recomienda evitar suelos inestables, propensos a agrietarse.

b) Modificación del sitio.

Según Rogers y Fitzgerald y sus colaboradores se recomienda para construcción de nuevas viviendas sobre minas agotadas de uranio o cerca de ellas y en terrenos con fosfatos, remover completamente la tierra, reemplazándola y recubriéndola, así se pueden disminuir los niveles de emanación de la tierra. Todo esto depende de la profundidad y espesor del relleno.

c) Construcción.

Si se opta por construir sótanos o cimientos de losas o gradas en casas o en construcciones estas se pueden realizar de tal manera que minimicen la entrada

del Rn y faciliten la instalación de sistemas de ventilación en los cimientos. Se recomienda llevar a cabo las siguientes medidas

- 1) Uso de concreto reforzado para el sótano y losas
- 2) Uso de concretos de calidad, así como mezcla
- 3) Espesor adecuado y buena calidad en las losas
- 4) Uso de una barrera de impermeabilizante plástico entre las losas y agregado de grava, arcilla, etc
- 5) Uso de un sistema completo de drenaje alrededor del perímetro del sistema
- 6) Mantenimiento a la estructura para evitar las penetraciones y sellar todas las entradas de los servicios
- 7) Tapar todas las cisternas
- 8) Evitar el calentamiento por los ductos de las losas
- 9) Es conveniente impermeabilizar las paredes del sótano

d) Ventilación.

La concentración de Rn en el interior se determina por el equilibrio entre la velocidad de entrada y la velocidad de remoción, por la ventilación o el decaimiento radiactivo. La correcta ventilación de una casa reduce la concentración de Rn entre un 30% y un 90%, claro dependiendo de la época del año. La reducción se debe a la remoción del aire que contiene el Rn y a la dilución del volumen total interior con aire más puro.

La ventilación natural en una casa se origina por la diferencia de temperatura y presión entre el aire interno y el externo. Al cambiar la temperatura y los vientos estacionales son mayores las fuerzas naturales que originan este acontecimiento. Debido a que la ventilación natural se realiza a través de todas las vías de acceso que conectan el aire interno y el externo, el aire interno puede cambiarse por aire externo incluso cuando las puertas y ventanas están cerradas.

La ventilación artificial o mecánica se basa en el uso de ventiladores que forzan un aumento en las velocidades de cambio de aire succionando el aire externo o

agotando el aire interno mientras que lo reemplaza con aire más puro del exterior. En cambio, las velocidades naturales de cambio de aire se basan fuertemente en las diferencias de presión surgidas por la diferencia de temperatura y el efecto del viento. Estos factores originan pequeñas presiones a través de las paredes que separan el aire interno y el externo, como resultado se crea el efecto de chimenea, en el cual la presión de la base de la pared dirige el flujo de aire hacia el interior caliente y la presión de la cima de la pared dirige el flujo hacia la temperatura más fría. El efecto de chimenea origina el intercambio del aire interno por aire externo, el cual se succiona por debajo de la construcción durante la estación más calurosa.

e) Reduciendo niveles de Rn en casas habitación.

Estas medidas correctivas pueden ser aplicadas de inmediato y son económicas. Las mencionadas a continuación pueden ayudar a bajar los niveles de Rn o disminuir su entrada al interior.

- 1) Como se comentó se recomienda ventilar la casa, abriendo puertas y ventanas (ventilación natural) o uso de sistemas de ventilación (ventilación forzada).
- 2) Asegurarse que exista venteo en todos lugares de la casa, abriendo y limpiando.
- 3) Sellarse las grietas de la base de la casa, a lo largo de las paredes del sótano si lo hay, y de los pisos.
- 4) Cubrir adecuadamente las tuberías que no estén bien empotradas.
- 5) Hacer venteos periódicos con bombas.
- 6) Pintar sótano, paredes y pisos.

Está demostrado que en una construcción donde se usen estas técnicas ayudará a reducir la introducción del Rn al interior de la casa.

Las técnicas para controlar el Rn en interiores se fundamentan en lo siguiente:

- a) Disminución del Rn en su origen.
 - b) Reducción del transporte de Rn de su origen al interior.
 - c) Remoción del Rn y su descendencia en el interior.
- a) Buena ventilación.

CAPITULO 2

2.1 Estudio geográfico de la delegación de Tlalpan.

Localización y Límites²¹.

Por su extensión territorial la Delegación de Tlalpan ocupa el segundo lugar dentro del Distrito Federal, y comprende el 20.85% de la superficie total de la misma. La superficie de la Delegación es de 309.29 kilómetros cuadrados. Cuenta con una población total de 484.866 habitantes de los cuales el 48.3% son hombres y el 51.7% son mujeres.

Colinda al norte con las delegaciones de la Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Coyoacán, al este con Xochimilco y Milpa Alta, al sur con los municipios de Huitzilac del Estado de Morelos y Santiago Triangustengo del Estado de México y al oeste con Santiago Triangustengo y Jalatlaco del Estado de México y la delegación la Magdalena Contreras. Sus Coordenadas Geográficas Extremas son: al norte 19° 19', al sur 19° 05', de latitud norte, al este 99° 06' y al oeste 99° 19' de longitud oeste. Debido a que la superficie de la delegación es muy irregular no podemos hablar de una altura exacta sobre el nivel del mar. Sin embargo existe información acerca de la altura de las principales localidades de la delegación ver tabla 2.1.

2.2 Morfología.

Los terrenos de la Delegación de Tlalpan se extienden en la parte más fértil del Valle de México, dividiéndose en llanos al norte, quedando aquí incluido el pedregal de Tlalpan llamado también de Eslava ó Xictli. Al sur se localizan las serranías del Ajusco, cuya cumbre domina a otras como son las de Xictli, Malinalte, Mesontepec y Malacatepec. Grandes masas de lava basáltica rodean la cumbre del Ajusco acumulándose en forma de voluminosos crestones en las mesetas o extendiéndose en las vertientes y pie de las montañas.

TABLA 2.1 Zonas en las que se realizó el monitoreo o zonas aledañas a las áreas monitoreadas.

LOCALIDAD	ALTITUD (msnm)
Tlalpan	2260
Villa Coapa	2250
Héroes de Padierna	2520
Villa Olímpica	2300
San Andrés Totoltepec	2430
San Miguel Apusco	2860
San Miguel Topilejo	2660
Sede Delegacional	2270

Un grupo de relieves topográficos importantes constituyen los cráteres que fueron activos en la época de la formación del Pedregal, aunque es muy probable que su número haya sido mayor ahora son únicamente tres los que pueden apreciarse con facilidad. El Xicli que es un cono piroclásico perfecto con laderas externas e internas fuertemente inclinadas. Pegado al Xicli y en dirección oeste se encuentra otro cráter de paredes formadas por bloques de lava basáltica de menor elevación y menos profundo, denominado Xicli Chico. Y el último cráter situado en el lado opuesto, es decir en el borde oriental del Xicli, es de escasa profundidad y relleno de gran cantidad de lava.

Existe un ciclo de vida en las corrientes de lava y consiste de cuatro etapas

- 1) Nace de una erupción volcánica
- 2) Tiene su época de juventud, representada por la superficie rocosa desnuda
- 3) Por la acción doble de depósitos y la erosión pierde el aspecto característico y se cubre de un suelo vegetal.
- 4) Pasa a la vejez para morir debajo de una capa de sedimento o desaparece por ablación

La duración de este ciclo depende de la naturaleza y espesor de la lava

El Pedregal de Tlalpan según las etapas anteriores está en la tercera etapa, es decir tiene una cubierta vegetal representada principalmente de palo loco, encino, pirul y una gran variedad de cactáceas

Petrográficamente la lava del Pedregal puede clasificarse como basalto de olivino con microcristales. El color de lava es gris bastante oscuro. El manto en sus superficies superior e inferior presenta un gran número de pequeñas oquedades que son el resultado de desprendimientos de gases durante el enfriamiento. El espesor de la parte baja del Pedregal varía entre 6 y 10 metros cerca de los claros y en algunos bordes evidentemente es más delgado.

Así pues excluyendo el Pedregal que abarca la región norte de la delegación, el resto se trata de una zona montañosa, hallándose formada en su mayor parte por la serranía del Ajusco y regada por numerosas corrientes que bajan de ella.

2.3 Geología.

Las series geológicas más importantes son las siguientes.

- 1 Serie volcánica Xochitepec
- 2 Formación Tarango
- 3 Serie Basáltica Chichinautzin

Las dos primeras pertenecen al terciario y la última al cuaternario.

Serie volcánica Xochitepec está formada por rocas volcánicas de composición intermedia y variada del Terciario Medio. En esta serie se han incluido todas las rocas volcánicas de esa composición general. Se localiza debajo de la formación Tarango, del plioceno superior y de la serie andesítica Ajusco que parece ser algo más reciente a la de Xochitepec. La serie de Xochitepec está oculta a profundidades que se estiman de 1500 metros de espesor.

Serie andesítica Ajusco Pertenece al plioceno inferior y está formada por rocas andesíticas más recientes que la serie volcánica Xochitepec. Su espesor máximo es probablemente mayor de 300 metros.

Formación Tarango Se extiende en forma de abanicos entrelazados. La parte sur está formada por basaltos más recientes que cubren la formación Tarango, es posible que su espesor pase de los 600 metros, en algunas áreas, pero no se

conoce el espesor máximo. Esta formación es escasa en la delegación de Tlalpan, y se localiza principalmente en el lado oeste de la delegación.

Serie basáltica Chichinautzin. No solo incluye las lavas que son verdadero basalto, sino también basaltos con cuarzo, basalto sin olivino, andesitas basálticas y andesitas de anfíbolos y piedra pómez con o sin cuarzo. Esta serie es la predominante en toda la delegación.

En resumen, la formación de Tarango se localiza al este de la delegación de Tlalpan, donde empiezan los basaltos de la serie Chichinautzin, esta serie es la que predomina en toda la delegación, con excepción de los tres afloramientos de andesitas de la serie Xochitepec.

2.4 Climas.

En las siguientes tablas 2.2 y 2.3 se muestran las características climáticas de la delegación de Tlalpan.

Tabla. 2.2. Climas.³

Tipo y Subtipo	Símbolo	% de la superficie delegacional
Templado subhúmedo con lluvias en verano	C(w)	38
Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano	C(E)(m)	19
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano	C(E)(w)	43

Tabla 2.3. Temperatura media mensual y anual en grados centígrados.³

MES	ESTACION	
	Tlalpan	Ajusco
Enero	12.7	9.1
Febrero	14.8	10.1
Marzo	17.8	11.9
Abril	17.8	13.2
Mayo	19.4	13.6
Junio	19.4	12.9
Julio	19.2	11.8
Agosto	17.3	12.0
Septiembre	16.3	11.6
Octubre	15.1	11.3
Noviembre	13.8	10.3
Diciembre	11.4	9.5
Total anual	16.2	11.4
Años de observación	11	24

En la Fig 4 se muestra una carta de climas, en la cual se puede observar la distribución de los 3 diferentes tipos de climas, nombrados en la tabla 2.2. En la Fig. 5 se muestra la temperatura media mensual

2.5 Análisis de suelo.

Según los datos obtenidos por análisis desarrollados se encontró que el fósforo disponible es inferior al normal (100 o más ppm) excepto en las Fuentes Brotantes y en los suelos cercanos al Canal Nacional, en los límites con Coyoacán

El potasio resulta ser normal (120-500 ppm) y se ha detectado en Fuentes Brotantes y cerca de Canal Nacional. En otras áreas se han detectado cantidades menores. Para un suelo bueno se considera un contenido de 500 o más ppm

Fig. 4 Distribución de climas en la delegación de Tlalpan.

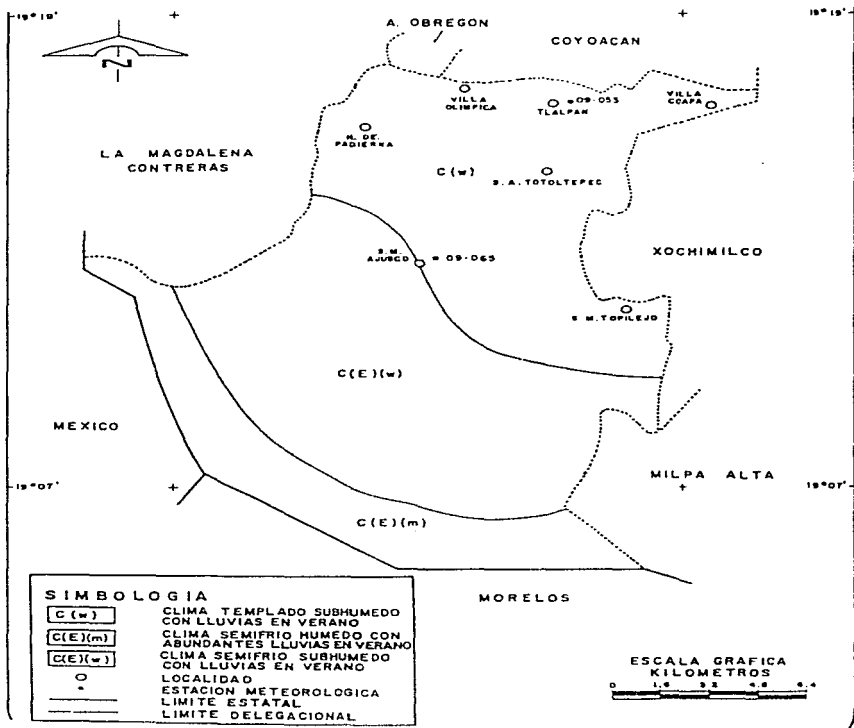
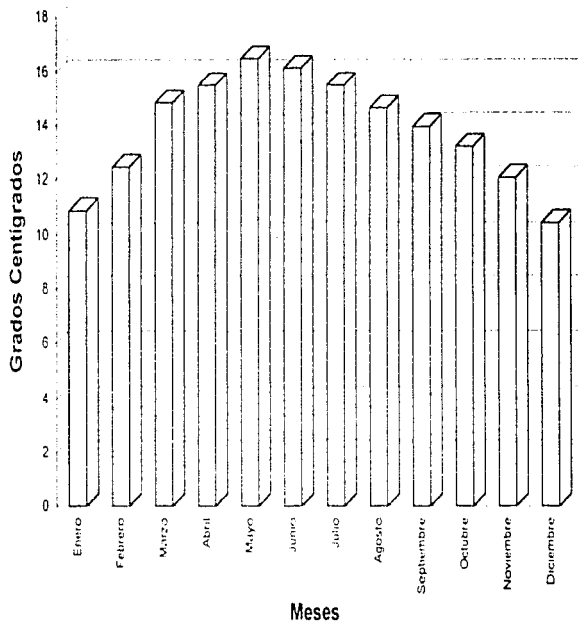


FIG. 5 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LA DELEGACION DE TLALPAN



El pH en general es bajo aún en los suelos francos donde el pH es inferior al de un suelo bueno (6.10-7.80).

El Nitrógeno total es abundante. De igual forma el Calcio disponible es superior al normal (900 o más ppm).

El área ocupada por los bosques de coníferas, se considera en general arcillo arenoso a excepción de las regiones donde aflora la roca de origen volcánico. La estructura del suelo puede considerarse como granular y de textura compacta.

En la fig 6 se ilustran las áreas que fueron monitoreadas.

2.6 Características de la construcción, Hábitos y costumbres de los moradores.

Al aplicar un cuestionario a los moradores de las casas a monitorear se obtuvo lo siguiente:

1) Número de personas en la familia		Total	117 personas /22 casas.
Max	11 personas	Min	1 persona
Promedio	5.32 = 5.5 personas /familia		
2) Fuman	Si	12 Casas	54.54%
	No	10 Casas	45.45%
3) Cuentan con estufa de gas	Si	22 Casas	100%
4) Nivel en que se colocó el detector	Planta baja	21 Casas	95.45%
	Primer piso	1 Casa	4.54%
5) La habitación que se seleccionó ¿está en contacto directo con el suelo firme ?	Si	20 Casas	90.9%
	No	2 Casas	9.09%
B) Descripción del inmueble			
7) Es construcción moderna	Si	22 Casas	100%

8) Los cimientos son de :	Piedra volcánica	20 Casas	90.9%
	Concreto	1 Casa	4.54%
	Ladrillo	1 Casa	4.54%

C) Descripción de la habitación :

9) Esta construida con paredes de :	Tabicón	19 Casas	86.36%
	Piedra volcánica	1 Casa	4.54%
	Ladrillo	2 Casas	9.09%
10) El techo es de :	Concreto	18 Casas	81.81%
	Lámina	4 Casas	18.19%
	Concreto	22 Casas	100%

D) Acabados.

12) Las paredes :	Aplanados	Yeso	8 Casas	36.36%
		Pintura	13 Casas	59.09%
		P Volcánica	1 Casa	4.54%
13) El techo :	Pintura	Vinilica	19 Casas	86.36%
		Tapiz	2 Casas	9.09%
		Yeso	11 Casas	50%
14) El Piso :	Cemento Pulido	Lámina	5 Casas	22.72%
		Cemento Pulido	3 Casas	13.63%
		Cemento Aspero	3 Casas	13.63%
	Cemento Aspero	Mosaico	3 Casas	13.63%
		Loseta	3 Casas	13.63%
		Cemento Pulido	11 Casas	50%
		Loseta de Mármol	3 Casas	13.63%

E) Ventilación.

15) La casa cuenta con entre piso por donde circule el aire

de la calle hacia el interior

No	21 Casas	95.45%
Si	1 Casa	4.54%

16) Cuentan con algún tipo de calefacción :

No	20 Casas	90.9%
Si	2 Casas	9.09%

17) Generalmente puertas y ventanas están abiertas o cerradas

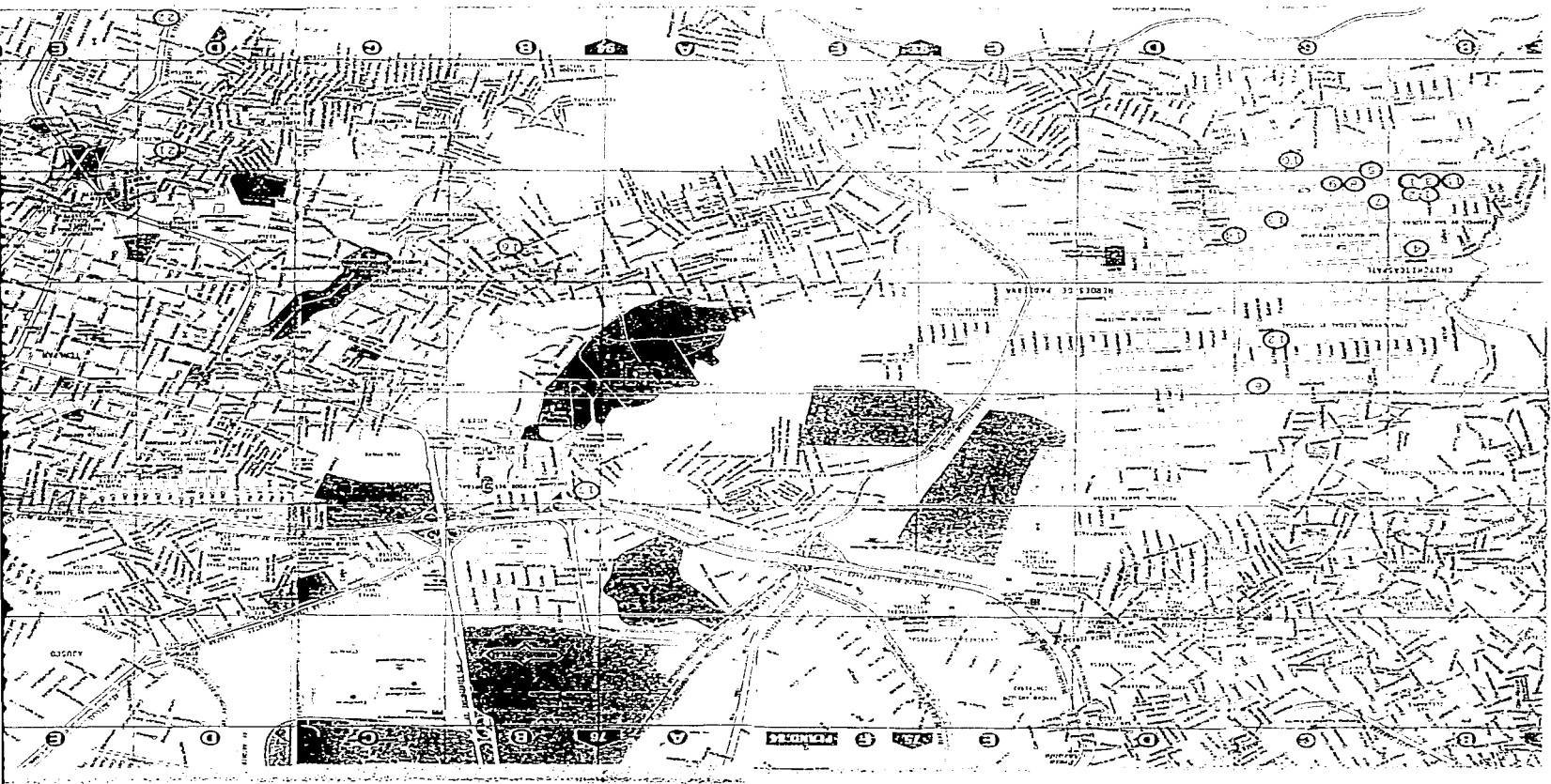
PUERTAS				
	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO
ABIERTA	100%	86.37%	59.09%	18.19%
CERRADA	0%	13.63%	40.91%	81.81%

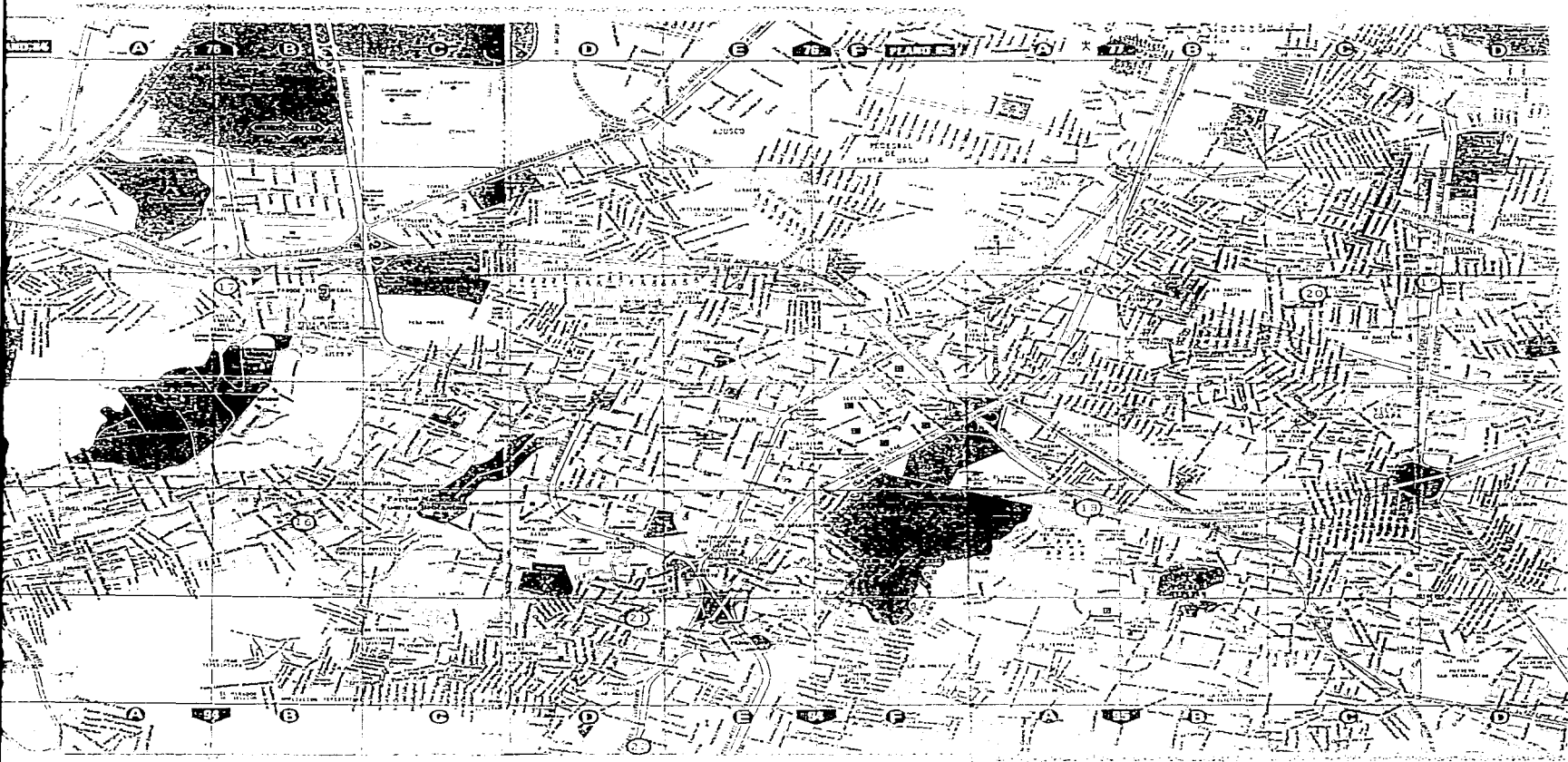
VENTANAS				
	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO
ABIERTA	100%	77.28%	54.54%	22.72%
CERRADA	0%	22.72%	45.46%	77.28%



FIG. 6. Areas de muestreo.

FIG. 6. Areas de muestreo.





3. METODOLOGIA

3.1 Introducción.

Debido al gran interés por los riesgos asociados al Rn se desarrollaron varios métodos para medición de la concentración de Rn promediada a largo plazo. Se buscó la técnica de medición más efectiva en costo y tiempo, cuidando que sean detectores de Rn de tiempo-integración pasivos. Estos dispositivos dependen de exposiciones y pos-exposición de ambos, es decir el número de huellas alfa producidas en la detección o la disminución de carga de un capacitor, causada por el Rn y, el decaimiento del Rn producido por la emisión de partículas alfa sobre un período de exposición. Este tipo de dispositivos tienen la capacidad de realizar mediciones de exposiciones a la largo tiempo. El tiempo de duración es relativo a muchos factores, el más importante es la concentración de Rn a la que están expuestos.

Un nuevo detector es el E-PERM. Este usa un electret el cual es esencialmente un capacitor teniendo una carga semipermanente. El electret es precondicionado tanto, que la carga no se disipa debido a cambios en temperatura y humedad. Para medición del Rn el electret cargado es colocado dentro de una cámara de iones hecha de plástico conductor. La difusión del Rn dentro de la cámara y por decaimiento genera iones dentro del detector. El campo electrostático generado, producido por el electret atrae electrones de iones pares a su superficie, los cuales reducen la carga almacenada. El detector sirve como un colector de iones/detector de Rn, donde la determinación del gas es un proceso indestructible que puede ser operado en el campo, permitiendo resultados rápidos.²

A continuación se presentan resultados de pruebas para evaluar 4 tipos de detectores de Rn ambiental. Todos fueron reportados por sus fabricantes por tener las siguientes características:

- 1) Detectores pasivos de Rn ambiental para mediciones de tiempo integrado para periodos de 90 días o más
- 2) Lecturas de sensibilidad de 1.0 pCi al mes/L ó mejores

Se evaluaron 4 tipos de detectores

E-PERM™ (Rad Elec Inc, E-PERM System, 5530J, Spectrum Drive, Frederick, Maryland 21701)

Radtrak™ (Tech/Ops Landauer, Inc, 2 Science Rd, Glenwood, Illinois)

REM (Radon Environmental Monitoring Inc, Northbrook, Illinois)

RSSI (RSSI, 6312 West oakton Street, Morton Grove, Illinois)

Las descripciones están basadas en información contenida en los manuales del fabricante

La cámara de iones E-PERM esta hecha de plástico conductor eléctrico. La baja densidad de electrones de este plástico, en los detectores E-PERM muestran una respuesta mínima a la radiación fotonica. Como se verá más adelante un electret es un disco de Teflón™ cargado, llevando una carga eléctrica cuasipermanente. El dispositivo de carga produce un campo magnético capaz de coleccionar iones negativos. El gas Rn se introduce a la cámara y decae, generando iones que son coleccionados por el electret.

La caída en el potencial superficial del electret de un periodo conocido de tiempo es una medición de tiempo-ionización integrada durante ese periodo y puede ser transformada a concentración de Rn.

El monitor Radtrak usa un monitor de plástico CR-39 montado dentro de una taza plástica cilíndrica de carbón de 3cm de diámetro x 2cm de altura. El detector es montado perpendicularmente en el fondo del monitor. Los dispositivos también incluyen un filtro detrás de una rejilla plástica, sobre el domo de la taza. El objetivo de este filtro es evitar que los productos de decaimiento se introduzcan al detector y permitir que solo el Rn se difunda dentro de él.

El monitor de Rn REM AT-100, es construido de plástico conductor para minimizar los efectos de la carga eléctrica, la taza tiene una forma hemisférica para una mejor distribución de las trazas. El detector de 3cm de diámetro es montado dentro de un compartimiento de plástico conductor de 2.3 cm de altura x 3.8 cm de diámetro.

El monitor de huella-alfa RSSI's usa una hoja de detector CR-39. La CR-39 usada en la hoja es formulada por sistemas de medición de huellas para tener bajo fondo y alta sensibilidad. El detector es colocado dentro de un compartimiento de plástico conductor cilíndrico de 5.72cm de altura x 6.99cm de diámetro. La configuración del monitor y mayor área de detector es considerada para mejorar la sensibilidad de los detectores.

Estudio de aseguramiento de calidad.

Los detectores fueron evaluados bajo condiciones controladas en una cámara de Rn y bajo condiciones de campo. El laboratorio de Rn, operado en los E.U. Departamento de energía (DOE) fue usado para todas las exposiciones de aseguramiento de calidad controlado. El propósito era calibrar, examinar y evaluar los dispositivos del Rn.

La exactitud y precisión de los detectores fue evaluada usando réplicas de mediciones de detectores bajo una concentración de Rn conocida y controlada. Cada medición fue duplicada usando 5 detectores de los 4 tipos. Las exposiciones fueron 133.5, 354, 627 y 904 (pCi-d/L). Estas concentraciones corresponden a una exposición de 90 días para concentraciones de Rn, variando el fondo para la concentración de Rn máxima en la parte de pruebas de campo.

Estudios de campo.

La precisión del detector fue evaluada usando mediciones por duplicado bajo condiciones de campo. Se realizó el estudio en Ambrosia Lake situada a una

altitud de 2130 m s n m al oeste de Nuevo México, donde se encuentra una área que contiene Uranio de aproximadamente 44.5 hectáreas.

El estudio consistió de mediciones a 4 locaciones a varias distancias. Los datos de campo se reunieron durante dos periodos de aprox 90 días cada uno. Cada locación se monitoreó con 5 detectores de cada tipo, para un total de 20 detectores por locación. Todos se colocaron juntos para asegurar la misma radiación gamma, Rn ambiental, efectos físicos y condiciones.

Descripciones estadísticas.

Los detectores fueron comparados por exactitud y precisión. Para calcular el porcentaje de inexactitud se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{media de las mediciones por duplicado} - \text{concentración conocida}}{\text{concentración conocida}} \times 100$$

Lo opuesto a la precisión es la variabilidad. En este estudio la variabilidad o imprecisión fué definido como un porcentaje de coeficiente de variación (COV).

$$\text{COV}(\%) = \frac{\text{desviación estándar de las mediciones por duplicado}}{\text{media de las mediciones por duplicado}} \times 100$$

La precisión del tipo de detector se evaluó bajo ambas condiciones laboratorio y exposiciones de campo. La exactitud se determinó usando los datos de las exposiciones (de aseguramiento de calidad) controladas.

Resultados.

Aseguramiento de Calidad.

Los resultados del estudio de aseguramiento de calidad se muestran en la tabla 3.1. Y en la tabla 3.2 se muestran ambos, el estudio de aseguramiento de calidad y los resultados de los dos estudios de campo, obteniéndose la suma

Los coeficientes de variación (COV) fueron trazados contra la exposición de Rn conocida (fig 7). La gráfica muestra que las mediciones del REM fueron más variables con un promedio de COV de 58%. No existieron diferencias estadísticas en precisión entre los otros tres tipos de detectores. El promedio de COV para las clases de Radtrak, RSSI y E-PERM fue de 7%.

El porcentaje de inexactitud en 4 exposiciones de laboratorios se dibujaron en una gráfica contra la concentración de Rn conocida (fig 8). La evaluación estadística confirma un ligero decrecimiento en la inexactitud al aumentar la exposición. La exactitud del Radtrak y RSSI fue comparada con la de los detectores REM y E-PERM. Sin embargo una diferencia estadística existió entre estos dos grupos. Las lecturas del Radtrak y RSSI estuvieron por encima de la concentración real en un promedio de 26%, considerando que los detectores REM y E-PERM estuvieron por abajo de la concentración real por un promedio de un 8%.

Estudios de Campo

Los detectores Radtrak y REM mostraron resultados menores al límite de detección para el fondo de su locación, usando un límite de detección de 0.3 pCi/L. En contraste la clase RSSI detectó Rn en el fondo a niveles variando de 1.4 a 5.0 pCi/L. Todas las mediciones del E-PERM fueron reportadas por arriba del límite de detección, los cuales variaron de 0.1 a 0.8 pCi/L para el fondo de locación más una lectura de 16.5 pCi/L. La presencia de mediciones indetectables para dos de los cuatro tipos es el resultado de falsos negativos para Radtrak y REM. La clase RSSI indicó los niveles más altos de Rn al fondo

Tabla 3.1 Resultados del estudio de aseguramiento de calidad(pCi-dia/L)

Exposición de Radón	Radtrak (%) inexactitud	REM (%) inexactitud	RSSI (%) inexactitud	E-PERM (%) inexactitud
133 5	164.3 (23 1) 171.5 (28 4) 145.4 (8 88) 171.5 (28 4) 173.8 (30 2)	136.1 (1.9) 131.9 (-1.2) 336.6 (152) 169.3 (26 8) 148.5 (11.2)	241.6 (81 0) 228.1 (70 9) 232.2 (74 0) 235.8 (76 6) 241.1 (80 6)	134 (0 4) 126.5 (-5 2) 134.5 (0 8) 141.0 (5 6) 114.5 (-14 2)
Promedio	165.3 +/-11.7	184.5 +/-86.3	235.8 +/-5.8	130.1 +/-10.1
%CV	7.1	46.8	2.5	7.8
%Inexac	23.8 +/-8.8	38.2 +/-64.6	76.6 +/-2.5	2.5 +/-7.6
354	376.9 (6 4) 441.8 (24 8) 386.5 (9 2) 410.5 (16) 417.7 (18)	12.2 (-96 6) 366.1 (3 4) 349.3 (-1 3) 399.9 (13) 16.3 (-95 4)	444.7 (25 6) 436.3 (23 2) 499.9 (41 2) 509.6 (43 8) 424.4 (19 9)	350.2 (-1 1) 325.8 (-8 0) 349.4 (-1 3) 335.2 (-5 3) 355.6 (0 5)
Promedio	406.7 +/-25.8	228.8 +/-196.7	463 +/-39	343.2 +/-12.3
%CV	6.3	86	8.4	3.6
%Inexac	14.9 +/-7.3	35.4 +/-55.6	30.8 +/-1.1	3.7 +/-3.5
627	637.9 (1 7) 735.5 (17 3) 745.3 (18 9) 698.9 (11 5) 718.4 (14 6)	591.4 (-5 7) 570 (-9 1) 582.8 (-7 0) 24.6 (-96 1) 28.7 (-95 4)	710 (13 2) 702 (26 3) 768.8 (22 6) 667.9 (6 5) 707.1 (12 0)	694.8 (10 8) 555.8 (-11 4) 541.5 (-13 6) 587 (-6 4) 613.9 (-2 1)
Promedio	707.2 +/-42.6	359.5 +/-303.9	728.2 +/-50.9	598.6 +/-60.7
%CV	6	84.5	7	10.1
%Inexac	12.8 +/-6.8	42.7 +/-48.5	16.1 +/-8.1	-4.5 +/-9.7
904	1048.5 (16) 979.1 (8 3) 1046 (15 7) 1098.2 (21 5) 1073.3 (18 7)	651.4 (-27 9) 889.8 (-1 6) 981.9 (8 6) 980.7 (9 6) 968.7 (7 2)	1058.8 (17 1) 957.8 (5 9) 1127.8 (24 8) 1003.6 (11) 1038.4 (11 6)	555.5 (-38 4) 802.5 (-11 2) 804.3 (-11 0) 814.8 (-9 9) 840.7 (-7 0)
Promedio	1049 +/-44.5	896.5 +/-142.7	1031.3 +/-64.7	763.8 +/-116.9
%CV	4.2	15.9	6.3	15.3
%Inexac	16 +/-4.9	-0.8 +/-15.8	14.1 +/-7.2	-15.5 +/-12.9

Fig. 7 Gráfico %COV vs Concentración(pCi/L),por clase.

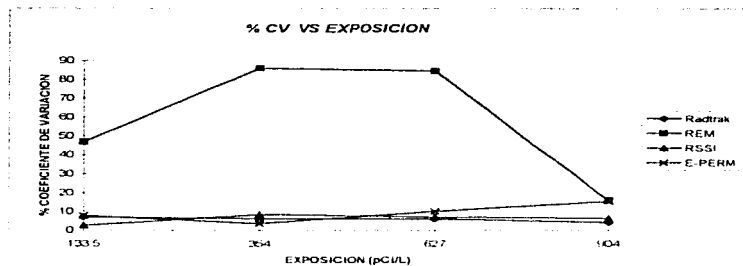


Fig. 8 Gráfico %Inexactitud vs Concentración, por clase.

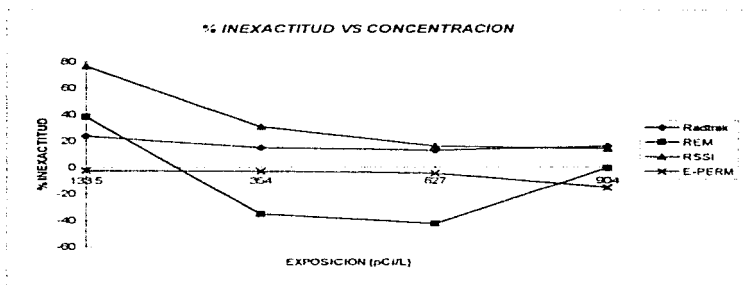


Tabla 3.2 Suma de resultados.

Tipo	Promedio de exactitud (%)	Promedio de precisión (%)	Promedio de precisión de campo
Radtrak™	16.9	5.9	8.2
Rem	-10	58.3	15
RSSI	34.4	6	3.7
E-PERM™	-6.4	9.2	15

Conclusiones.

La exposición a rayos gamma que se midió en las locaciones de campo variaron de 10 a 165 $\mu\text{R/h}$. Los detectores E-PERM no tuvieron ninguna reducción en su desempeño asociado con el incremento de rayos gamma, medido en ambos periodos de campo. Radtrak y RSSI tendieron a sobrestimar la concentración de Rn conocida en la parte de aseguramiento de calidad. Ambas clases sin embargo demostraron una precisión notable en el laboratorio y campo con coeficientes de variación (la mayoría) por debajo del 10%.

El REM y E-PERM tendieron a subestimar la exposición en el laboratorio. Estas clases mostraron una precisión errática debido a la presencia de algunos errores de medición. Cuatro valores de REM de la parte de aseguramiento de calidad fueron bajos por casi el 100%. La precisión del E-PERM se compara con la de Radtrak y RSSI en el laboratorio, pero fue reducida en el campo por dos mediciones muy altas.

La aparente gran sensibilidad de la clase E-PERM a bajas exposiciones puede deberse a sus principios de medición. Basado en los resultados de este estudio, una precisión del 20% parece ser un desempeño razonable para detectores de Rn ambiental.

3.2 El E-PERM

Características.⁸

El sistema E-PERM consiste de 3 componentes

- 1) Un disco de teflón cargado electrostáticamente conocido como electret el cual colecciona iones .
- 2) Una cámara de iones hecha de plástico conductor donde el electret puede ser cargado
- 3) Un lector para leer el potencial de superficie(voltaje) del electret.

Los tres son importantes para hacer mediciones de Radón ambiental. A veces a los E-PERM se les conoce como electret de cámara de iones. Ver fig A

El electret.^{8,14,15}

El electret usado en el sistema E-PERM es un disco de Teflón (DuPont), el cual tiene que ser cargado mediante un proceso especial, y así retener la carga permanentemente. El disco es asegurado en un soporte de plástico de conducción eléctrica, el cual puede ser enroscado dentro de la cámara E-PERM productora de iones. El electret produce un campo electrostático dentro de la cámara, capaz de atraer iones de signo opuesto generados por el decaimiento del Radón y sus hijos dentro de la cámara. La superficie cargada es neutralizada por la colección de los iones, y el voltaje superficial del electret disminuye proporcionalmente cuando estos iones se encuentran en el electret. La cantidad de carga que un electret lleva es característica de su potencial superficial, diámetro y espesor. La caída de voltaje superficial del electret sobre un período de tiempo conocido es una medición de tiempo-integrado de ionización durante un intervalo de tiempo. La sensibilidad deseada, rango dinámico y corrientes estáticas pueden ser programadas en los parámetros de diseño de un electret de

cámara de iones, para obtener un cambio óptimo para una medición de Radón específica.

Diseño de electret.

Son estables a altas humedades Su estabilidad depende de:

- 1) Del método utilizado para preparar los electrets
- 2) El método de procesamiento del electret, el cual debe ser a elevadas temperaturas
- 3) La calidad del material del electret
- 4) Los métodos usados en el manejo y preparación de los electrets

Los electrets son hechos y procesados a base de discos de Politetrafluoroetileno(PTFE)Teflón de 0.152 cm de espesor . los cuales son usados para electrets de intervalos de tiempo cortos (2-7días) y existen discos de Politetrafluoroetileno(PTFE)Teflon con 0.0127cm de espesor que son utilizados para construir electrets para intervalos de tiempo largos. Estos dos electrets son conocidos como de corto y largo tiempo y cuando son colocados dentro de las cámaras E-PERM son se refieren a ellos como E-PERM de corto tiempo y E-PERM de largo tiempo. La sensibilidad del E-PERM es inversamente proporcional al espesor del electret usado.

Estabilidad del electret.

La cubierta al electret donde es almacenado contiene aberturas de filtración, de esta manera el electret puede ser expuesto a condiciones de humedad y temperatura

En la tabla 3.3 se muestran lecturas de potencial superficial tomados de electrets durante dos meses de verano cuando la humedad relativa fue mayor del 95% por lo menos la mitad del tiempo. Los datos muestran que fueron estables bajo estas condiciones.

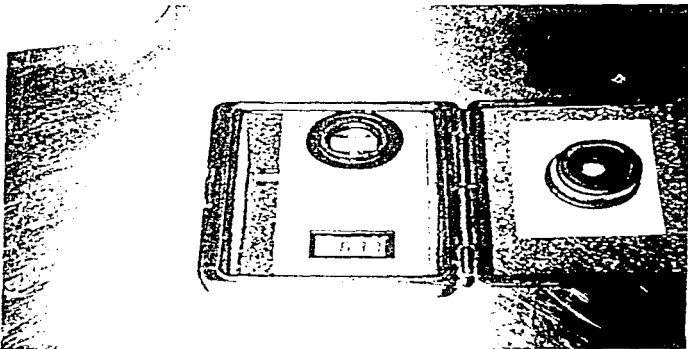


Fig. A Instrumento de medición de Radón (E-PERM) a la derecha, y a la izquierda el lector (SPER-1).

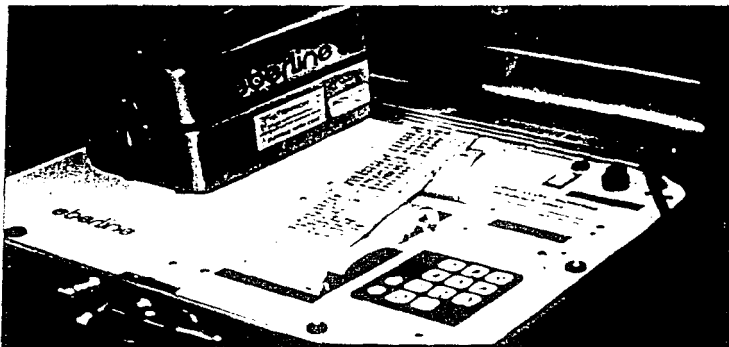


Fig. B Instrumento de muestreo de progenie (CWLM).

Calibración del electret.

El factor de calibración (CF) es definido como el decrecimiento en el voltaje del electret cuando un electret específico y cámara son expuestos por un día a la concentración de 1pCi/L de Radón. El CF para E-PERM es linealmente relativo a el voltaje del electret sobre un rango de 150V a 750V y una fórmula de autocorrección es usada para desarrollar el factor de calibración apropiado para el voltaje promedio de la exposición.

3.3 Cálculo de la concentración de Radón.

La siguiente ecuación es usada para calcular la concentración de Radón con parámetros medidos:

$$RnC = ((I \cdot F) / (CF \times D)) - BG \quad (A)$$

donde

RnC es la concentración en pCi/L

I, F son el voltaje inicial y final de los electrets respectivamente

D es el período de exposición en días

CF es el factor de calibración ($\text{V/pCi/L} \times \text{día}$) y

BG es la radiación de fondo gamma ambiental (pCi/L)

Esta radiación de fondo gamma ambiental puede ser medida o estimada de la lista de niveles de radiación de cada estado de los E.U. publicado por la EPA.

Para nuestros propósitos este factor de corrección se determinará a partir de las lecturas obtenidas de los TLDs (Dosímetros Termoluminiscentes).

El factor de calibración se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$CF = a + b \times MPV \quad (B)$$

donde

a y b son constantes para cada tipo de E-PERM(ver tabla 3.4).

MPV es el voltaje promedio para una medición en particular,

$$MPV = (V_1 + V_2) / 2$$

Tabla 3.3 Datos de estabilidad de electrets, la temperatura varió de 21°C a 26°C y humedad relativa de 80 a 90%¹⁴.

Número de Electret	Potencial Superficial Electrets de 0.23cm de espesor (V)			Potencial Superficial Electrets de 127µm de espesor (V)			Potencial Superficial Electrets de 51µm de espesor (V)		
	Ago	Sep	Oct	Ago	Sep	Oct	Ago	Sep	Oct
	12	24	20	12	24	20	12	24	20
1	979	972	967	365	365	363	416	415	413
2	671	668	666	580	581	580	481	481	481
3	591	585	581	660	660	651	255	255	255
4	449	449	447	530	530	526	304	306	306
5	433	435	433	561	561	558	238	238	237
6	339	330	326	470	470	468	238	238	238
7	488	482	480	647	640	636	286	286	284
8	686	680	678	383	365	383	265	266	264
9	429	422	419	615	616	615	176	178	178
10	438	440	436	429	431	422	273	272	270
11	440	437	435	451	453	451	299	299	297
12	607	605	601	460	462	453	345	347	345
13	715	713	712	400	402	402	358	359	359
14	352	352	350	490	490	488	436	438	436
15	347	345	343	567	565	560	354	356	354
16	956	943	937	436	438	436	290	290	288
17	433	427	423	475	475	475	314	315	314
18	510	510	507	589	591	589	354	356	354
19	624	623	621	470	470	467	315	314	312
20	475	473	471	585	583	576	275	275	275

Tabla 3.4 Valores de a y b para cada tipo de E-PERM^a.

Tipo de E-PERM	a	b
SST(electret azul)	1.8864	0.000638
SST(electret verde)	1.562	0.00129
SLT	0.16	0.00006
LLT	0.02723	0.000012795
LST(electret azul)	0.2903	0.000154
HST	6.880	0.0043

3.4 Cámaras de iones.

La radiación nuclear (en este caso radiación emitida por el decaimiento del Radón) genera iones en el aire. Cuando esto ocurre en el volumen compuesto de una cámara de conducción eléctrica, los iones pueden ser movidos y recolectados sobre un electret cargado, como un medio de medición. Tal instrumento es conocido como una cámara de iones. El E-PERM con sus paredes de plástico conductor eléctrico se asemeja a una cámara de iones. El electret sirve como el colector y sensor de los iones que son generados dentro de la cámara. Sobre la colección de iones. El voltaje es determinado por mediciones de cambios en el potencial de superficie del electret. La cámara del E-PERM está enroscada en el fondo para recibir electrets reemplazables en sus soportes. El modelo de cámara "S" incluye un mecanismo de encendido/apagado para cubrir o descubrir el electret, todos los E-PERM tienen aire filtrado adentro para permitir la entrada del gas Radón por difusión. A continuación se describe el tipo de E-PERM utilizado para la realización de este proyecto, con sus características.

Mediciones de Rn usando una cámara E-PERM tipo "L".

Es una cámara de poco volumen (50ml), conocida como la cámara pequeña o "L". El bajo costo de la cámara es por no tener un mecanismo de encendido/apagado. Cuando es colocado un electret de largo plazo(Long-Term), la configuración es llamada un E-PERM "LLT". Cuando es colocado un electret de corto plazo(Short-Term) es conocido como E-PERM "LS1".

El E-PERM "LLT" es usado para mediciones de larga duración aproximadamente de 3 a 12 meses. Por la ausencia del mecanismo de encendido/apagado, el E-PERM "LLT" debe ser colocado tan pronto como sea posible después de medir y colocar el electret. La lectura final debe también ser medida tan pronto como sea posible después de un periodo de exposición; sino el electret es removido de la cámara y cubierto por su capa protectora.

Para el cálculo de la concentración de Rn se utilizan las ecuaciones A y B para E-PERMs "LLT" y "LST" pero con diferentes constantes. El factor de corrección BG es ligeramente alto. Un factor de 0.12 pCi/L equivalente debe ser sustraído para cada micro R/h ($\mu\text{R/h}$) de radiación de fondo en el sitio de medición.

Este factor BG alto refleja la ligeramente alta respuesta gamma de la cámara "L" en relación a su respuesta al Radon.

Si las mediciones son hechas en un lugar situado a más de 1000ft arriba del nivel del mar existen las siguientes correcciones:

Tabla 3.5 Factores de corrección por elevación para resultados de E-PERM[®].

Elevación en pies	Factor de Corrección Cámara "S"	Factor de Corrección Cámara "L"
0 0	1 0	1 0
1000	1 0	1 05
2000	1 0	1 09
3000	1 0	1 14
4000	1 03	1 18
5000	1 09	1 22
6000	1 15	1 28
7000	1 21	1 33
8000	1 27	1 39

Tipos de E-PERMs

Actualmente los E-PERM existen en 3 diferentes volúmenes. Todos los modelos tienen un electret removible agregado en el fondo agujeros de filtración en la parte superior. Los E-PERM pueden ser empleados para mediciones de corto y largo plazo por simple colocación de un electret de corto o largo plazo.

La función de los electrets de largo, es la misma que los de corto plazo pero son menos sensibles. El rango de voltaje usual de ambos electrets es cercano a 550 volts. Pueden ser usados para voltajes en el rango de 750 a 200 volts y pueden ser utilizados para hacer varias mediciones teniendo este rango de voltaje de uso. La más baja sensibilidad del electret de largo plazo los hace convenientes para ambos monitoreo a largo y corto plazo de muy altas concentraciones de Radon.

Tres modelos de E-PERM están ahora disponibles. La principal diferencia es su volumen. Las unidades de cámara "H" son de aproximadamente 1L de volumen. Las unidades de cámara "S" son de 200ml y las cámara de tipo "L" son de 50ml. Ambos electrets de largo y corto pueden ser colocados dentro de los tres tipos de cámara de electret, teniendo una variedad de sensibilidades. La tabla 3.6 muestra cada una de las variaciones de E-PERM y el periodo de exposición recomendado para cada uno.

Tabla 3.6 Clasificación de E-PERMs y periodo de exposición recomendado^a.

Tipo de Cámara	Volumen de Cámara (ml)	Configuración con electret "S"	Periodo de exposición sugerido	Configuración con electret "L"	Periodo de exposición sugerido
H	1000	HST	1-2 días	*	----
S	200	SST	2-7 días	SLT	1-3 meses
L	50	LST	1-3 meses	LLT	3-12 meses

^a La cámara "H" es solamente usada con electrets ST para muy cortas (1-2d) exposiciones

3.5 Lector de electret (SPER-1).

Es un instrumento electrónico usado para medir el potencial de superficie (voltaje) de un electret. El cambio en el voltaje de superficie durante un periodo de exposición conocido es una medida de la concentración integración-tiempo del Radón en una cámara de E-PERM durante ese periodo

El SPER-1. Lectura y manejo.

El SPER-1 (Surface Potential Electret Voltage Reader) es un voltímetro sin contactos y de alta precisión. Se debe manejar con cuidado. Viene en un estuche acojinado. Este estuche cuenta con un bote absorbedor de humedad en el interior. Cuando los cristales desecantes son azules, están secos; cuando son rosas o blancos, están húmedos. Si es rosa se retira el desecante y se seca por hora y media a 350°F. Para calibrar el SPER-1, el voltaje de respuesta debe ser revisado para estabilidad, usando electrets de referencia.

Los electrets de referencia son usados como parte del programa de aseguramiento de calidad. Un registro de sus lecturas semanales deberán mantenerse como parte de ese programa. Si las lecturas semanales permanecen constantes, se puede estar seguro de que el lector está funcionando bien.

Procedimiento para tomar lectura de voltaje.

- 1) Colocar la cara del electret dentro del receptáculo circular que está en la parte superior del lector SPER-1.
- 2) Colocar el electret de tal manera que el número de serie este exactamente paralelo al nombre Rad Elec Inc. sobre el lector.

- 3) Tirar del accionador shutter hacia abajo lenta pero firmemente, después deje que regrese lentamente a su posición alta(shutter cerrado) y suéltelo. Esto acciona el lector Ignore las lecturas que aparecen en ese momento en el panel.
- 4) Tirar del accionador shutter otra vez y manténgalo así durante 5 segundos antes de soltarlo. El lector está leyendo ahora el voltaje del electret
- 5) Después deje el shutter en su posición cerrada por lo menos 5 segundos, repetir el paso 4 y leer el voltaje otra vez. Este segundo voltaje deberá ser el mismo valor que el primero. Si varía, repetir la lectura hasta que el mismo valor se repita por lo menos dos veces. Este valor es el voltaje correcto del electret leído
- 6) El lector se apaga por sí solo después de 2 minutos sin uso
- 7) Después de terminar las lecturas, cerrar la cubierta del lector

Malfuncionamiento.

- 1) Las lecturas no son reproducibles o tienen fluctuaciones

El SPER-1 se ve afectado por la humedad o cuando existen condensaciones dentro del lector. Por ejemplo cuando existen cambios bruscos de temperatura.

- 2) Cuando aparece "lo bat" en la pantalla se sugiere cambiar la batería (de preferencia que sea alcalina)
- 3) Cuando se presentan problemas ajenos a los anteriores, se recomienda llevarlo a servicio

Existen lectores avanzados como el SPER-2 que también es utilizado. Este tiene la capacidad de mostrar datos, análisis y tiene habilidad para comunicarse por computadora. El SPER-2 usa el SPER-1 como una parte integral. Y todo lo comentado sobre el SPER-1 también es aplicable a unidades lectoras avanzadas.

3.6 Rango dinámico y estimación de errores.¹⁵

Los electrets son recomendados para su uso entre voltajes que van de 750 a 200 V. Esto porque la colección de iones por electret con voltajes menores de 200V muestran baja eficiencia y la multiplicación de electrones puede ocurrir con electrones por arriba de 750 V. Este intervalo establece el rango dinámico de la concentración de Rn integrada (pCi/L-día) que cada tipo de E-PERM puede medir. Por ejemplo un electret de corto término en una cámara "s", esta limitación de rango de 200 a 750 V se traduce a una limitación cerca de 270 pCi/L. Es decir este promedio de voltaje caería si se expone por un día a 270 pCi/L o por 10 días a 27 pCi/L. Similarmente un electret de largo término en una cámara "s" tiene una limitación en pCi/L-día alrededor de 2700 y un electret de largo término en una cámara "L" tiene una limitación de 1400 pCi/L-día. A esto se le conoce como *rango dinámico*.

Estimación de errores

Existen tres tipos de error en los monitores de Radón.

1) Error (E1), está asociado con el volumen de la cámara, espesor del electret y otros parámetros de cámara. Este ha sido experimentalmente medido y es cercano al 5%.

$$E1 = \pm 0.05 \times ((V_i - V_f) / (CF \times T))$$

2) Error (E2) está asociado a la lectura de los electrets. Ahí puede existir una incertidumbre de 1 volt en la lectura inicial y final y se representa por la siguiente ecuación:

$$E2 = \pm 1.4 / (CF \times T)$$

3) Error (E3), el cual esta asociado con la radiación gamma natural de fondo, esta es conocida con una incertidumbre del 10%. El error de concentración (E3) es resultado de esta incertidumbre y es:

$$E3 = \pm 0.10 \times BG \times D$$

donde D es un factor de conversión para una concentración de Rn equivalente en unidades de Bqm³ por pCi/L y BG es la radiación γ de fondo en pCi/L.

El error global es

$$ET = \sqrt{(E1^2 + E2^2 + E3^2)}$$

El nivel mínimo de detección (LLD) se define como la concentración de Rn que puede ser medida con un error del 50%. El LLD depende del período de exposición, la región de voltaje y si es el electret de corto o largo término. En la tabla 3.7 se muestran los rangos en niveles mínimos para varios periodos de medición

Tabla 3.7 Niveles mínimos de detección para E-PERM.¹⁵

Período de medición	Tipo de electret ST ó LT	Rango de BND (Bqm ³)
2	ST	20 a 28
7	ST	11 a 12
60	ST	8 a 9
30	LT	18 a 26
90	LT	10 a 11
365	LT	8 a 9

3.7 Efectos de parámetros ambientales.⁸

Es importante entender los efectos de ciertos parámetros ambientales para el desempeño del sistema. Los efectos o falta de efectos causados por 1) Temperatura, 2) Humedad relativa, 3) Corrección de datos por elevación 4) Presencia de iones en el cuarto, 5) Campos electrostáticos en el cuarto, 6) Radiación gamma, 7) Torón en el aire, 8) Polvo externo.

1) Temperatura

Como se comentó anteriormente la temperatura no afecta las mediciones del E-PERM. Esto se comprobó exitosamente por la EPA a lo largo de un año en los 50 estados de los E.U. Sin embargo se debe estar conciente de los efectos secundarios de la temperatura, los cuales pueden ocurrir durante la lectura del electret. Debido a los diferentes coeficientes del Teflón y al material del soporte de plástico conductor, la superficie de Teflón del electret tiende a hacerse cóncavo o convexo cuando la temperatura cambia substancialmente. Esto produce un cambio en el valor del voltaje. Esta variación se aproxima a 2 volts por cada 10°F de cambio de temperatura. Este efecto se elimina fácilmente si se hacen ambas mediciones inicial y final a una misma temperatura.

2) Humedad Relativa

3)

El E-PERM no es afectado, incluso por la alta humedad relativa que se encuentra en las casas o en el medio ambiente. De hecho los E-PERMs son usualmente utilizados para hacer mediciones de Rn en agua bajo condiciones del 100% de humedad relativa.

El lector SPER-1 se debe mantener seco para que proporcione voltajes apropiados.

3) *Corrección de Resultados por Elevación.*

Los E-PERMs tienen que ser calibrados en la ciudad de Nueva York u otra ciudad a nivel del mar. A altas elevaciones existen moléculas de aire por unidad de volumen de aire para la partícula Radón alfa a ionizar. Como resultado una ligera baja en la ionización es causada por la misma concentración de Radón. En la tabla 3.5 se muestran los factores de corrección, que deben ser aplicados a las lecturas de Rn del E-PERM, y así corregir los efectos por elevación. Para obtener los factores necesarios a nuestros fines, se realizó una interpolación para obtener el factor de corrección para las diferentes áreas de estudio en la delegación de Tlalpan.

4) *Presencia de Iones en el Cuarto*

Siempre existen iones en cada cuarto. Estos pueden estar presentes si un generador de iones está operando. Los iones del cuarto son detenidos completamente por el filtro del E-PERM. Lo mismo sucede con la progenie del Rn, también el filtro los detiene.

5) *Campos Eléctricos Externos*

Los campos externos al cuarto no tienen efecto sobre el E-PERM. Debido al material de construcción del cual está hecho (plástico conductor eléctrico).

6) *Radiación Gamma*

Los E-PERMs son sensibles a iones producidos por la penetración de radiación ionizante, tal como radiación X o γ , también como iones producidos por el Rn dentro de la cámara. En los E.U. Rad. Elec., publicó una lista de factores de

corrección promedio por estado, para corregir los efectos de fondo natural. El fondo varía para cada estado. Las variaciones van de 0.1a 0.2 pCi/L.

7) *Torón en Aire.*

El Torón es otro isótopo del Rn con un tiempo corto de vida. Éste se presenta en pequeñas concentraciones en las casas. Los E-PERMs son diseñados para tener menos del 15% de respuesta al Torón

8) *Polvo Externo.*

El polvo externo no influye en el desempeño del E-PERM. Sin embargo se recomienda retirar el polvo depositado en la superficie externa antes de tomar mediciones del electret. Ya que existe la posibilidad de que el polvo caiga sobre el electret en el momento que se saque de la cámara

3.8 **Ventajas y desventajas.**

Ventajas

- 1) Los cambios en E-PERM son independientes de la humedad sobre un rango normal en el ambiente
- 2) Se toma algunos segundos para leer los electrets. La lectura no se pierde y puede ser dada en varias ocasiones sin afectar la señal del electret
- 3) Los electrets pueden ser usados tanto como su potencial de superficies se mantenga en un rango (100 a 800 volts). Cuando están por debajo de éste rango, pueden ser recargados y reusados
- 4) Los parámetros de diseño de electrets y E-PERM pueden ser cambiados para cubrir una variedad de anchos, de sensibilidad y requerimientos de rangos para muchas aplicaciones

- 5) Los E-PERM son aparatos pasivos requieren de partes no móviles.
- 6) La metodología de preparación de electrets es bien conocida y es adaptable a producción en masa
- 7) El cambio de los voltajes del electret es esencialmente una función lineal de la exposición de Rn así que un simple factor de calibración puede ser utilizado para calcular la concentración
- 8) La incertidumbre estadística (radiactividad) es insignificante
- 9) Los E-PERM son económicamente viables con respecto a otro tipo de monitor pasivo

Desventajas

- 1) Un simple electret no puede cubrir del más bajo al más alto rango de exposición de ^{222}Rn que se encuentra en las casas, para algún período de exposición sin sacrificar sensibilidad
- 2) Los electrets deben ser manejados y almacenados con precauciones simples pero especiales. Por ejemplo no se debe tocar el electret, ya que se alterará su voltaje

3.9 Monitor continuo de niveles de trabajo.¹¹

Otro instrumento de medición utilizado en este proyecto es el monitor continuo de niveles de trabajo(CWLM). El equipo muestrea el aire ambiental filtrando las partículas suspendidas en el aire mediante un cartucho filtro. El instrumento cuenta con un detector de barrera superficial (de silicio), el cual cuenta las partículas alfa liberadas por los productos de decaimiento del Rn conforme estos decaen en el filtro. Las partículas alfa emitidas por el ^{214}Po y ^{218}Po son los contribuyentes más importantes a las cuentas medidas por el detector. Los eventos contados son directamente proporcionales al número de partículas alfa emitidas por los productos de decaimiento del Rn sobre el filtro.

El sistema de monitoreo esta compuesto de tres partes :

- 1) Unidad muestreadora (WLM).
- 2) Unidad lectora (WLR).
- 3) Cargador de batería

Las cuentas alfa son registradas por la unidad muestreadora (WLM) para los intervalos de muestreo preprogramados y transferidos a la unidad lectora para la toma de datos. La unidad muestreadora registra también el decaimiento, después de que la bomba ha sido apagada. Ver fig. B.

La unidad muestreadora se puede recargar con la unidad lectora o con el cargador de batería. La unidad lectora realiza todos los cálculos, así como la impresión de los datos.

Los parámetros para programar la unidad muestreadora (constante de calibración y tiempo de muestreo), son programados a través de la unidad lectora.

La WLM es capaz de muestrear periodos menores de un día, con el fin de tener una precisión adecuada. Proporcionando un error que fluctúa entre -2.45% y 2.7% para el 92% de los casos. El error dependerá del tiempo de muestreo, el desequilibrio del aire muestreado y la calibración del equipo. El límite inferior de detección es de $2E-5$ WL y el límite superior es de 100 WL.

Constante de Calibración

La constante de calibración esta en unidades de cuentas por minuto (cpm) por niveles de trabajo (WL) si el valor es mayor de 1. Si el valor es 1, la unidad es cpm.

$$\text{Cte de Calibración} = \frac{\text{Velocidad de flujo (l/min)} \times \text{eficiencia}}{5.6 \text{ E-}5}$$

La constante $5.6 \text{ E-}5$ es necesaria para hacer la calibración y es un factor de conversión de energía de partículas alfa a WL, el cual toma en cuenta dos casos extremos.

Cuando existe radio (Ra A) y cuando no existe Al existir solo Ra A en el momento de la deposición en el filtro cada átomo emite partículas alfa de 6 MeV y de 7.69 MeV , por lo tanto la energía promedio es de 6.85 , en este caso de extremo desequilibrio se tiene que

$$\frac{6.85 \text{ MeV/alfa}}{1.3 \text{ E}5 \text{ MeV/WL-litro}} = 5.3 \text{ E-}5 \text{ WL-litro / partícula } \alpha$$

Si no existe Ra A, cada partícula alfa emitida tiene 7.69 MeV de energía y el monitor tiene el siguiente factor de conversión

$$\frac{7.69 \text{ MeV/alfa}}{1.3 \text{ E}5 \text{ MeV/WL-litro}} = 5.9 \text{ E-}5 \text{ WL-litro /partícula } \alpha$$

El error mayor en la calibración es de 5% por lo cual se utiliza un factor único. La energía alfa asociada con los hijos del torón es de

$$\frac{7.8 \text{ MeV/alfa}}{1.3 \text{ E}5 \text{ MeV/WL-litro}} = 6 \text{ E-}5 \text{ WL-litro /partícula } \alpha$$

Este factor de corrección para los hijos del torón es de 1.07 veces el factor de conversión para los hijos del Rn

Para obtener el WL se aplica la siguiente ecuación :

$$\frac{5.6 \text{ E-}5}{(L)(E)} \times C$$

donde

C, son las cuentas netas en el intervalo de conteo

L, litros de aire muestreados durante el intervalo de conteo y

E, la eficiencia (4π) del conteo alfa determinada usando una fuente alfa (^{230}Th).

Las constantes L y E son diferentes para cada tipo de monitor y están basadas en la calibración de velocidad de flujo y la eficiencia de conteo. La unidad lectora calcula las cpm para cada intervalo de conteo, y los divide entre la cte de calibración (CC).

$$CC = \frac{(L)(E)}{5.6E-5} = \frac{cpm}{WL}$$

$$WL = \frac{cpm}{CC}$$

Para la determinación de la eficiencia se utiliza la siguiente ecuación :

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{\text{cpm observadas}}{\text{dpm de la fuente}} \times 100$$

La unidad lectora reportará el promedio de todos los datos obtenidos por la unidad muestreadora la secuencia es :

$$\text{Promedio} = \frac{\text{cuentas totales}}{\text{tiempo total}} / \text{cte de calibración}$$

Las unidades pueden ser seleccionadas para la cte de calibración (cpm, WL ó Bq/m3 EER)

Las cuentas totales abarcan el extremo de 4 horas (periodo de decaimiento) de conteo y son recogidas por la contribución del torón. El porcentaje de torón se evalúa utilizando la velocidad de decaimiento del extremo de 4 horas

CAPITULO 4

4.1 Características del muestreo.

Como es conocido la delegación de Tlalpan es una de las de mayor extensión territorial en el D.F. y para llevarlo a cabo el muestreo, este se realizó en 22 casas, teniendo el muestreo las siguientes características

- 1) Se eligieron 22 casas al azar, tratando de abarcar las principales poblaciones de la delegación
- 2) El tiempo de muestreo que se selecciono para el CWLM, fue de 24 horas con lecturas cada hora y 4 horas con la bomba apagada, con mediciones cada 30 min, para determinar los intervalos del extremo y estimar el % de Torón
- 3) El período de muestreo para el CWLM abarco Verano(Junio, Julio, Agosto) y Otoño(Septiembre, Octubre, Noviembre) para así llevar a cabo una comparación entre las dos estaciones y estos datos utilizarlos para obtener la concentración promedio anual en la zona de estudio, utilizando modelos predictivos ya desarrollados

Para el E-PERM el periodo de muestreo fué de 3 meses, correspondiendo a cada estación, de tal manera que se realizaron cuatro mediciones en cada casa Dando como resultado concentraciones de Radón por estación, además del promedio anual, lo cual nos permite comparar resultados con los obtenidos con el CWLM

- 4) La unidad de muestreo (CWLM y E-PERM) se colocó en la planta baja de la casa habitación, de preferencia en la recámara o sala/comedor
- 5) La altura sobre el nivel del suelo fluctuó entre 0.80 y 1.5 m, debido al riesgo de estar al alcance de los niños
- 6) Al realizarse mediciones de investigación estas se efectuaron en condiciones normales. Es decir sin alterar las actividades de los moradores de cada una de las casas

- 7) Se aplicó un cuestionario a cada morador para conocer las características de construcción de cada casa, así como hábitos y costumbres
- 8) Al mismo tiempo que se colocaron los E-PERMs, también se colocaron dosímetros termoluminiscentes de $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Dy} + \text{PTFE}$, y en el exterior en una casa. Estos se expusieron el mismo tiempo que estuvo expuesto el E-PERM
- 9) El tratamiento de los dosímetros se realizó en el ININ, utilizando un lector Harshaw-4000 proporcionándonos la dosis de exposición. De esta manera se obtuvo la radiación ambiental promedio en la delegación de Tlalpan, necesaria para llevar a cabo la corrección de fondo y para los datos del E-PERM

4.2 Control de calidad.

El objetivo de el aseguramiento de calidad es asegurar que los datos sean científicamente confiables y de precisión y exactitud conocida. Para el CWLM consistió en lo siguiente:

1 - Medidas de calibración de el equipo¹¹

a) Calibración en eficiencia con la fuente de ^{230}Th (mensual)

La calibración en eficiencia de conteo del detector, se realizó con la fuente ^{230}Th . La eficiencia de conteo es el porcentaje de partículas alfa emitidas y contadas por el detector. El promedio de las tres calibraciones para la estación de verano fué de 1403 cpm y una eficiencia promedio de 22.53%. La mayor lectura fué de 1426 cpm, con una eficiencia de 22.85%. Para otoño el valor promedio de las tres calibraciones fué 1378 cpm, con una eficiencia promedio de 22.08%. La mayor lectura fué 1381 cpm y 22.12% para calibración y eficiencia respectivamente. El valor de la eficiencia debe estar entre 29% y 22%. Y para cada una de las calibraciones el valor es aceptable. Ver tabla 4-1 y 4-2.

El porcentaje de eficiencia se calcula de la siguiente forma :

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{\text{cpm observadas}}{\text{dpm de la fuente}} \times 100$$

dpm emitidas de la superficie del disco = 6240 dpm +/- 437

cpm emitidas de la superficie del disco = 3720 cpm +/- 219(2 π)

b) Calibración del flujo de la bomba (mensual)

En la tabla 4.3 y 4.4 se muestran las lecturas de las tres calibraciones de flujo para cada estación. En verano el flujo máximo es 0 1296 L/min, el mínimo es de 0 1278 L/min, el flujo promedio es de 0 1284 L/min. Para la estación de otoño, el flujo máximo fue de 0 1328 L/min y 0 1283 L/min el mínimo para un promedio de 0.1311 L/min. El fabricante recomienda que el flujo este entre 0 12 y 0 18 L/min) Y como podemos observar, estamos dentro del intervalo

2 - Medidas por duplicado y blancos

Los duplicados son necesarios para estimar la precisión de los resultados, estos se realizaron en el 10% de las casas (2 casas) por estación

Los blancos son medidas a muy bajas concentraciones de Rn, las cuales se encuentran en el exterior de las casas (uno por estación). Ver tabla 4.11

3.- Por último los resultados del muestreo se analizaron por medio de un método estadístico de control de calidad¹¹. Y También se realizó un análisis estadístico para obtener el promedio aritmético y geométrico

TABLA 4.1 CALIBRACION EN EFICIENCIA PARA LA ESTACION DE VERANO

FUENTE Th-230, BLINDADA ACERO INOXIDABLE DISCO 0.79mm ESPESOR DIAM. ACTIVO 1.91 cm.

dpm emitidas de la superficie del disco 6240 dpm +/- 437

cpm emitidas de la superficie del disco 3120 cpm +/- 219

CALIBRACION	FECHA	CPM						PROMEDIO	%EFICIENCIA
		1	2	3	4	5	6		
1	14-Jul-95	1420	1410	1440	1400	1470	1380	1420	22.75
2	16-Ago-95	1350	1370	1390	1410	1370	1330	1365	22
3	15-Sep-95	1450	1390	1460	1490	1400	1420	1426	22.85

$$\% \text{ DE EFICIENCIA} = (\text{cpm PROMEDIO} / \text{dpm FUENTE}) \times 100$$

NOTA EL % DE EFICIENCIA DEBE ESTAR ENTRE 22% Y 29%

TABLA 4.2 CALIBRACION EN EFICIENCIA PARA LA ESTACION DE OTOÑO

FUENTE Th-230 BLINDADA ACERO INOXIDABLE DISCO 0.79mm.ESPESOR. DIAM. ACTIVO 1.91 cm

dpm emitidas de la superficie del disco 6240 dpm +/- 437

cpm emitidas de la superficie del disco 3120 cpm +/- 219

CALIBRACION	FECHA	CPM						PROMEDIO	%EFICIENCIA
		1	2	3	4	5	6		
1	16-Oct-95	1350	1410	1360	1350	1400	1380	1381	22.12
2	15-Nov-95	1400	1340	1370	1440	1350	1360	1376	22.05
3	15-Dic-95	1380	1430	1360	1420	1350	1330	1377	22.07

% DE EFICIENCIA = (cpm PROMEDIO/dpm FUENTE) X 100

NOTA: EL % DE EFICIENCIA DEBE ESTAR ENTRE 22% Y 29%

TABLA 4.3 CALIBRACION DE FLUJO PARA LA ESTACION DE VERANO

EN CADA CALIBRACION SE TOMARON 20 LECTURAS DE TIEMPO.

CALIBRACION	FECHA	VOLUMEN (mL)	TIEMPO PROM (seg)	FLUJO PROM(L/min)	DSTDP	DSTD
1	14-Jul-95	20	9.25	0.1296	0.00173	0.00194
2	16-Ago-95	20	9.379	0.1279	0.00293	0.00309
3	15-Sep-95	20	9.384	0.1278	0.00348	0.0036

$$\text{FLUJO (l/m)} = \frac{\text{VOLUMEN(mL)} \cdot 60(\text{s}) \cdot 1(\text{L})}{\text{TIEMPO(s)} \cdot 1(\text{min}) \cdot 1000(\text{mL})}$$

NOTA EL VALOR DE FLUJO DEBE ESTAR ENTRE 0.12 Y 0.18 (L/min).

TABLA 4.4 CALIBRACION DE FLUJO PARA LA ESTACION DE OTOÑO

EN CADA CALIBRACION SE TOMARON 20 LECTURAS DE TIEMPO.

CALIBRACION	FECHA	VOLUMEN (mL)	TIEMPO PROM (seg)	FLUJO PROM(L/min)	DSTDP	DSTD
1	16-Oct-95	20	9.06	0.1324	0.00309	0.00324
2	15-Nov-95	20	9.346	0.1283	0.00361	0.00381
3	15-Dic-95	20	9.03	0.1328	0.00661	0.00684

$$\text{FLUJO (l/m)} = \frac{\text{VOLUMEN(mL)} \cdot 60(\text{s}) \cdot 1(\text{L})}{\text{TIEMPO(s)} \cdot 1(\text{min}) \cdot 1000(\text{mL})}$$

NOTA: EL VALOR DE FLUJO DEBE ESTAR ENTRE 0.12 Y 0.18 (L/min).

4.3 Resultados y análisis de resultados.

Para realizar el análisis de resultados obtenidos a partir del CWLM (Continuous Working Level Monitor), se utilizaron gráficas de control para datos variables¹¹. Para esto se calcularon los límites de control de datos y rangos (gráfico x-r) para una sola muestra de 24 horas considerando la contribución del intervalo del extremo (C). Esto por si existe un porcentaje de torón y cuando éste es insignificante.

En las tablas 4 5 y 4 6 se enlistan los resultados de los monitoreos realizados en cada una de las 22 casas en esta se muestra el periodo de muestreo, WL promedio, +/- porcentaje de variación, % de torón, constante de calibración y el fondo en WL que registra la WLM antes de iniciar el muestreo

El periodo de muestreo para la estación de verano fué del 11 de julio al 6 de septiembre de 1995. Para la estación de otoño fué del 5 de octubre al 3 de diciembre de 1995.

El porcentaje de variación mayor fue de 9.74 en verano y en otoño fue de 8.75. Se encontró un porcentaje de torón en las muestras 4 y 15 en verano y en otoño en la muestra 13, los cuales se consideraron al calcular el WL promedio con intervalos del extremo, para el resto de las muestras el % de torón fué insignificante.

La EPA recomienda un nivel de no acción o nivel normal de 148 Bq/m³ o 74 Bq/m³ de Radón equivalente en equilibrio. En todos los muestreos se obtuvieron concentraciones menores a este nivel. La concentración máxima medida fue de 0.00645 WL en la muestra 4 en verano y en la muestra 13 en otoño las cuales fueron superiores a la media evaluada para el total de las 22 casas (0.002102 WL para verano y 0.001916 WL para otoño).

Las tablas 4.7 y 4.8 muestran los límites de control y los promedios para los datos y rangos de cada una de las 22 muestras. Estos límites se calcularon con (C) y sin (S) la contribución del extremo. Los límites de control y promedios se calcularon utilizando el gráfico de control x-r con una línea central x y r_{estf}os.

TABLA 4.5 RESULTADOS DE LAS MUESTRAS EN VERANO

LAS HORAS MUESTREADAS EN CADA CASA HABITACION SON 24.

MUESTRA No.	PERIODO	PROMEDIO WL	(+/-)% DE VARIACION	% DE TORON	CTE. DE CALIBRACION (cpm/WL)	FONDO WL
1	11-Jul	1.16E-03	7.1	INSIGNIFICANTE	527	1.27E-04
2	13-Jul	7.34E-04	9.01	INSIGNIFICANTE	527	1.90E-04
3	15-Jul	1.57E-03	6.42	INSIGNIFICANTE	473	3.52E-05
4	18-Jul	6.45E-03	4.28	64	473	1.06E-04
5	20-Jul	2.85E-03	4.66	INSIGNIFICANTE	473	7.04E-05
6	22-Jul	7.32E-04	9.25	INSIGNIFICANTE	473	1.06E-04
7	25-Jul	6.84E-04	9.74	INSIGNIFICANTE	473	1.41E-04
8	27-Jul	2.07E-03	5.79	INSIGNIFICANTE	473	3.52E-05
9	29-Jul	2.23E-03	5.63	INSIGNIFICANTE	473	7.04E-05
10	1-Ago	5.63E-03	4.95	60	473	1.41E-04
11	3-Ago	1.57E-03	6.54	INSIGNIFICANTE	473	7.04E-05
12	5-Ago	1.62E-03	6.06	INSIGNIFICANTE	473	1.06E-04
13	8-Ago	1.93E-03	6.11	INSIGNIFICANTE	473	7.04E-05
14	11-Ago	1.64E-03	6.41	INSIGNIFICANTE	473	1.06E-04
15	13-Ago	1.18E-03	7.77	INSIGNIFICANTE	473	3.52E-05
16	15-Ago	2.20E-03	5.56	INSIGNIFICANTE	473	0
17	20-Ago	1.51E-03	6.7	INSIGNIFICANTE	499	1.00E-04
18	22-Ago	2.84E-03	4.64	INSIGNIFICANTE	499	0
19	24-Ago	1.11E-03	7.26	INSIGNIFICANTE	499	1.00E-04
20	31-Ago	2.66E-03	4.81	INSIGNIFICANTE	499	1.67E-04
21	2-Sep	2.39E-03	5.04	INSIGNIFICANTE	499	1.34E-04
22	6-Sep	1.24E-03	7.08	INSIGNIFICANTE	499	3.34E-05

TABLA 4.6 RESULTADOS DE LAS MUESTRAS EN OTOÑO

LAS HORAS MUESTREADAS EN CADA CASA HABITACION SON 24.

MUESTRA No.	PERIODO	PROMEDIO WL	(+/-)% DE VARIACION	% DE TORON	CTE. DE CALIBRACION (cpm/WL)	FONDO WL
1	5-Oct	9.70E-04	7.73	INSIGNIFICANTE	522	9.58E-05
2	7-Oct	7.88E-04	6.75	INSIGNIFICANTE	522	6.39E-05
3	11-Oct	1.55E-03	6.27	INSIGNIFICANTE	522	9.58E-05
4	13-Oct	1.06E-03	7.47	INSIGNIFICANTE	522	3.19E-05
5	17-Oct	8.47E-04	8.33	INSIGNIFICANTE	523	6.37E-05
6	24-Oct	1.58E-03	6.02	INSIGNIFICANTE	523	3.19E-05
7	26-Oct	2.05E-03	5.49	INSIGNIFICANTE	523	6.37E-05
8	28-Oct	1.01E-03	7.52	INSIGNIFICANTE	523	6.37E-05
9	31-Oct	1.51E-03	6.23	INSIGNIFICANTE	523	2.23E-04
10	2-Nov	1.23E-03	6.94	INSIGNIFICANTE	523	6.37E-05
11	5-Nov	2.31E-03	5.07	INSIGNIFICANTE	523	3.19E-05
12	7-Nov	4.31E-03	4.15	25	523	9.58E-05
13	9-Nov	1.57E-03	6.24	INSIGNIFICANTE	523	1.27E-04
14	11-Nov	1.78E-03	5.69	INSIGNIFICANTE	523	9.58E-05
15	14-Nov	2.84E-03	4.81	INSIGNIFICANTE	523	6.37E-05
16	16-Nov	3.26E-03	4.28	INSIGNIFICANTE	505	9.90E-05
17	18-Nov	2.65E-03	4.65	INSIGNIFICANTE	505	0.00E+00
18	21-Nov	2.21E-03	5.45	INSIGNIFICANTE	505	0
19	23-Nov	1.12E-03	7.25	INSIGNIFICANTE	505	2.31E-04
20	28-Nov	2.26E-03	5.19	INSIGNIFICANTE	505	6.60E-05
21	29-Nov	3.60E-03	4.09	INSIGNIFICANTE	505	1.32E-04
22	3-Dic	1.43E-03	6.65	INSIGNIFICANTE	505	1.98E-04

TABLA 4.7. LIMITES DE CONTROL PARA LAS 22 MUESTRAS EN VERANO

LSC= LIMITE SUPERIOR DE CONTROL. LIC= LIMITE INFERIOR DE CONTROL. X= DATOS

MUESTRA	PROM. x S	PROM. r S	LSCx S	LICx S	LSCr S	LICr S	PROM. x C	PROM. r C	LSCx C	LICx C	LSCr C	LICr C
1	0.001046	0.000273	0.001779	0.000321	0.000696	0	0.001167	0.000326	0.002035	0.000306	0.001063	0
2	0.000650	0.000147	0.001041	0.000269	0.000481	0	0.000734	0.000176	0.001203	0.000266	0.000576	0
3	0.001421	0.000309	0.002242	0.000569	0.001011	0	0.001574	0.000358	0.002526	0.000622	0.001170	0
4	0.000204	0.000065	0.000408	0.000120	0.000166	0	0.000454	0.000091	0.000689	0.000189	0.000239	0
5	0.002489	0.000487	0.003793	0.001162	0.001562	0	0.002660	0.000623	0.004517	0.001204	0.002037	0
6	0.001371	0.000235	0.001997	0.000746	0.000769	0	0.001568	0.000260	0.002337	0.000795	0.000948	0
7	0.000893	0.000159	0.001107	0.000260	0.000523	0	0.000730	0.000174	0.001193	0.000268	0.000568	0
8	0.001854	0.000309	0.002676	0.001032	0.001011	0	0.002229	0.000370	0.003212	0.001246	0.001208	0
9	0.001571	0.000284	0.002127	0.000814	0.000920	0	0.001890	0.000330	0.002767	0.001012	0.001078	0
10	0.001426	0.000329	0.002299	0.000551	0.001075	0	0.001635	0.000377	0.002639	0.000632	0.001233	0
11	0.001242	0.000270	0.001961	0.000522	0.000884	0	0.001513	0.000307	0.002328	0.000667	0.001003	0
12	0.002971	0.000366	0.004757	0.001184	0.000967	0	0.001181	0.000333	0.002066	0.0003267	0.001087	0
13	0.001750	0.000360	0.002787	0.000713	0.001275	0	0.002067	0.000463	0.003299	0.000834	0.001515	0
14	0.001600	0.000255	0.002279	0.000921	0.000855	0	0.001623	0.000299	0.002619	0.001027	0.000978	0
15	0.002326	0.000470	0.003645	0.001147	0.001536	0	0.000690	0.000365	0.00231	0.0003149	0.0003124	0
16	0.000621	0.000172	0.001078	0.000164	0.000562	0	0.000685	0.000195	0.001205	0.000166	0.000638	0
17	0.002464	0.000428	0.003643	0.001265	0.001400	0	0.002675	0.000483	0.003969	0.001391	0.001579	0
18	0.002579	0.000506	0.003679	0.001163	0.001720	0	0.002638	0.000628	0.004507	0.001166	0.002053	0
19	0.002742	0.000363	0.003209	0.001077	0.001186	0	0.002194	0.000440	0.000365	0.001023	0.001440	0
20	0.001029	0.000203	0.001173	0.000268	0.000514	0	0.001107	0.000305	0.001918	0.000296	0.000996	0
21	0.001166	0.000104	0.001317	0.000230	0.000364	0	0.001241	0.000343	0.002153	0.000329	0.001121	0
22	0.002193	0.000370	0.003711	0.000561	0.001802	0	0.002392	0.000610	0.004014	0.000770	0.001994	0

78

S= SIN IRTV DEL EXTREMO. C= CON IRTV DEL EXTREMO. R= RANGO. PROM.= PROMEDIO.

TABLA 4.8 LIMITES DE CONTROL PARA LAS 22 MUESTRAS EN OTOÑO

LSC= LIMITE SUPERIOR DE CONTROL, LIC= LIMITE INFERIOR DE CONTROL, X= DATOS

MUESTRA	PROM.x S	PROM.r S	LSCx S	LICx S	LSCr S	LICr S	PROM.x C	PROM.r C	LSCx C	LICx C	LSCr C	LICr C
1	0 000692	0 001197	0 001416	0 000397	0 000645	0	0 000970	0 000239	0 001605	0 000335	0 000780	0
2	0 000696	0 000168	0 001195	0 000197	0 000613	0	0 000769	0 000205	0 001335	0 000243	0 000671	0
3	0 000694	0 000207	0 001504	0 000405	0 000675	0	0 001063	0 000244	0 001712	0 000415	0 000797	0
4	0 000226	0 000450	0 003494	0 001098	0 001473	0	0 002846	0 000524	0 004239	0 001453	0 001712	0
5	0 001354	0 000300	0 002151	0 000557	0 000680	0	0 001548	0 000341	0 002455	0 000941	0 001115	0
6	0 001387	0 000271	0 002096	0 000647	0 000855	0	0 001513	0 000305	0 002324	0 000701	0 000958	0
7	0 000767	0 000203	0 001906	0 000226	0 000663	0	0 000848	0 000216	0 001422	0 000273	0 000705	0
8	0 001767	0 000273	0 002492	0 001041	0 000892	0	0 002050	0 000319	0 002899	0 001201	0 001043	0
9	0 000207	0 000347	0 002990	0 001143	0 001136	0	0 002313	0 000402	0 003391	0 001244	0 001314	0
10	0 001642	0 000332	0 002525	0 000758	0 001059	0	0 001784	0 000370	0 002767	0 000921	0 001208	0
11	0 001242	0 000251	0 001936	0 000547	0 000854	0	0 001426	0 000285	0 002194	0 000695	0 000931	0
12	0 001303	0 000281	0 002109	0 000516	0 000318	0	0 001567	0 000362	0 002529	0 000626	0 001183	0
13	0 000306	0 000657	0 004856	0 001339	0 002150	0	0 004310	0 001047	0 007056	0 001524	0 003425	0
14	0 000242	0 000412	0 003137	0 000946	0 001347	0	0 0002263	0 000462	0 003493	0 001032	0 001512	0
15	0 001850	0 000297	0 002641	0 001059	0 000972	0	0 002213	0 000399	0 003249	0 001177	0 001273	0
16	0 001646	0 000222	0 001635	0 000456	0 000726	0	0 001117	0 000247	0 001773	0 000491	0 000807	0
17	0 003282	0 000487	0 004585	0 001965	0 001531	0	0 000600	0 000584	0 005153	0 002247	0 001809	0
18	0 000309	0 000911	0 004501	0 001515	0 001935	0	0 000364	0 000655	0 005036	0 001552	0 002141	0
19	0 001465	0 000341	0 002372	0 000560	0 001114	0	0 001579	0 000374	0 002874	0 000594	0 001223	0
20	0 000339	0 000265	0 001619	0 000260	0 000633	0	0 001013	0 000305	0 001825	0 000201	0 000998	0
21	0 001100	0 000273	0 001627	0 000373	0 000894	0	0 001325	0 000321	0 002079	0 000371	0 001050	0
22	0 002850	0 000527	0 003953	0 001147	0 001725	0	0 002852	0 000597	0 004441	0 001253	0 001953	0

S= SIN INTV DEL EXTREMO, C= CON INTV DEL EXTREMO, R= RANGO, PROM= PROMEDIO
 TODOS LOS VALORES ESTAN EN WL

79
 SERVICIO DE CONTROL DE CALIDAD
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALABAZAR DE LA PEÑA
 CALABAZAR DE LA PEÑA, VERACRUZ

límites establecen la variación máxima y mínima que estadísticamente se podrían obtener en la concentración y en la variación de la concentración horaria. Y como se observa todas las concentraciones son menores a 0.02 WL (74 Bq/m³ EER).

Las figuras 11 y 12 muestran los resultados de los intervalos de muestreo y del extremo para las medias por hora obtenidas en el período de verano e invierno respectivamente. También se representan los límites de control que se obtienen con las medias de las 22 casas tanto con la contribución del extremo (C) y sin la contribución del extremo (S).

Para realizar las gráficas anteriores se utilizó el mismo tratamiento estadístico de gráficos de control solo que en este caso utilizando el gráfico $\bar{x}-r$ (media-rango), donde la línea central es $\bar{\bar{x}}$ (media de los promedios de \bar{x}) y \bar{r} . Donde las constantes a 3σ para estas gráficas son

Para n = 22

Axr = 0.167

Drs = 1.505

Dri = 0.434

La diferencia que existe entre los límites de control y los promedios sin la contribución del extremo (S) y en los que se considera la contribución del extremo (C) es pequeña y debido a esto no afecta a la concentración total muestreada.

En verano se obtuvieron los siguientes límites de control:

LSCx C = 0.00287 WL

LICx C = 0.00128 WL

Prom x C = 0.002083 WL

LSCx S = 0.00218 WL

LICx S = 0.00105 WL

Prom x S = 0.001620 WL

Difer = 0.00069 WL

Difer = 0.00022 WL

Difer = 0.000463 WL

En otoño también se obtuvieron los siguientes límites de control:

LSCx C = 0.00255 WL

LICx C = 0.00127 WL

Prom x C = 0.00191 WL

LSCx S = 0.00220 WL

LICx S = 0.00113 WL

Prom x S = 0.00167 WL

Difer = 0.00035 WL

Difer = 0.00014 WL

Difer = 0.00024 WL

FIG.11 MEDIAS DE LOS DATOS DE LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO PARA LAS 22 CASAS EN VERANO

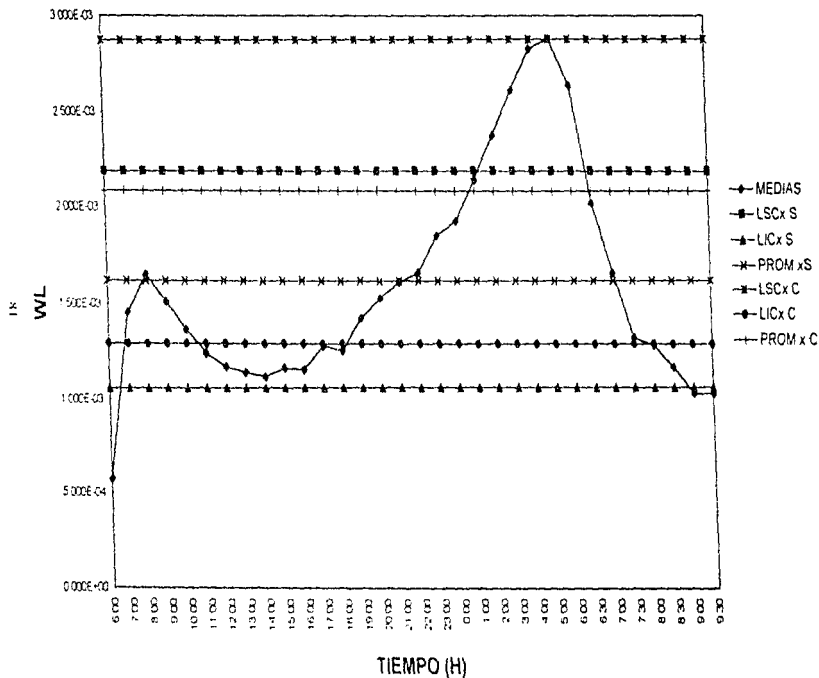
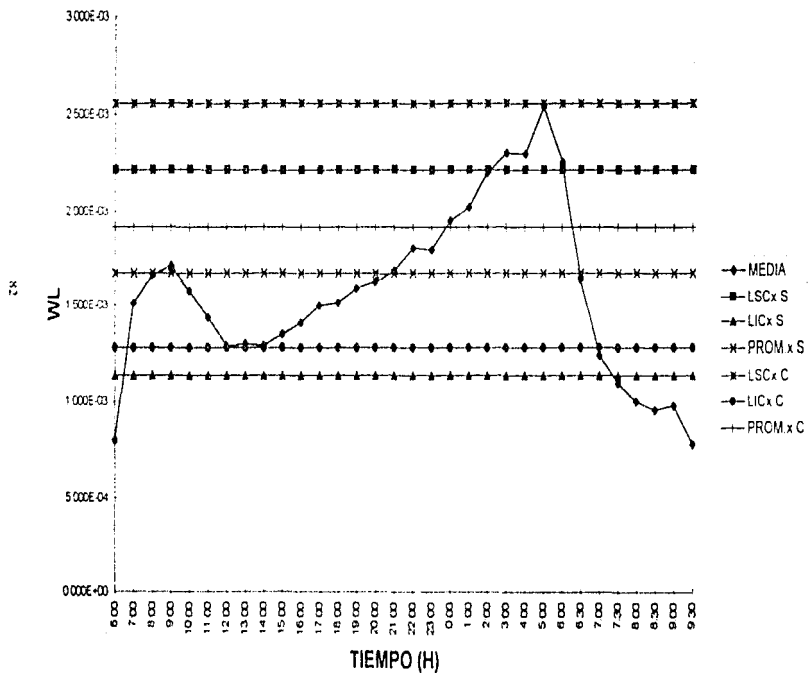


FIG.12 MEDIAS DE LOS DATOS DE LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO PARA LAS 22 CASAS EN OTOÑO.



En estas figuras se puede observar que la mayoría de los datos están dentro de los límites, con excepción de verano donde se obtuvo un mayor número de datos fuera (con el intervalo del extremo) En general el que se encuentren datos fuera de los límites de control, se debe a que en las casas monitoreadas existen diferencias significativas en las concentraciones encontradas, y también a que existen diferentes condiciones durante el monitoreo, principalmente la ventilación

En la siguiente tabla se presentan los porcentajes de puntos fuera de los límites de control para las dos estaciones:

Estación	Sin intervalo del extremo		Con intervalo del extremo	
	Puntos fuera	%	Puntos fuera	%
Verano	8	25	13	40.62
Otoño	10	31.25	7	21.87

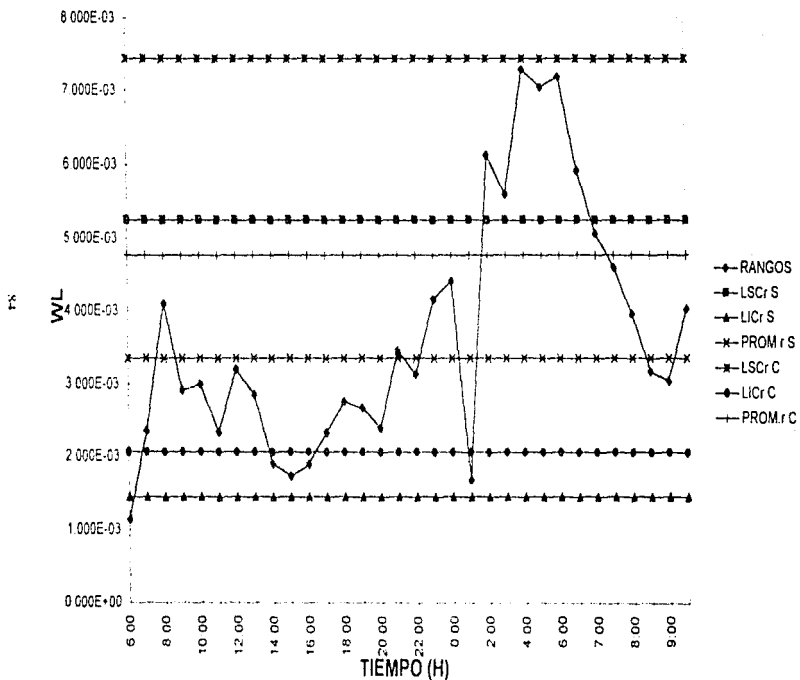
Al considerar el intervalo del extremo para la estación de verano se observa un incremento en el número de puntos fuera de los límites de control que de 25% pasa a 40.62%. En otoño sucede lo contrario de 31.25% pasa a 21.87%.

En caso de que se tomará como límite de control 0.02 WL (límite de no acción de la EPA), todas las muestras estarían dentro de los límites de control.

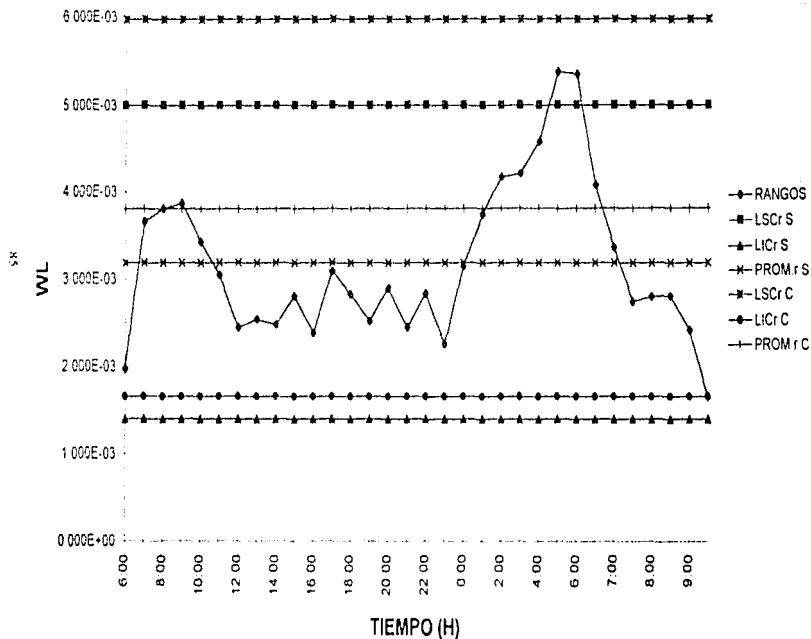
Al tener un análisis de la variación de la concentración de Rn a lo largo del día, se observa para el periodo de verano un mínimo a las 14 p.m., incrementándose hasta llegar a un máximo a las 5 a.m. Para otoño se registra un mínimo entre las 13 y 15 p.m., incrementándose hasta un máximo a las 5 a.m. Las concentraciones en el intervalo del extremo para ambos periodos, disminuyen conforme se acerca el final del muestreo.

En las siguientes figuras 13 y 14 observamos el comportamiento de los rangos (amplitudes) r obtenidos para las muestras de verano y otoño, estas gráficas nos permiten vigilar el proceso de muestreo, es decir como una medida de la variación. Se dibujan gráficas con los rangos del intervalo de muestreo (cada hora) y del intervalo del extremo (cada 30 minutos a partir de las 6:00 a.m.) y

**FIG.13 RANGOS DE LOS DATOS DE LOS INTV. DE MUESTREO
PARA LAS 22 CASAS EN VERANO**



**FIG. 14 RANGOS DE LOS DATOS DE LOS INTV. DE MUESTREO
PARA LAS 22 CASAS EN OTOÑO**



también se trazan los límites de control y promedio con y sin la contribución del extremo. Los límites de variación obtenidos con la contribución del extremo son :

ESTACION	PROMEDIO.r C WL	LIMITE SUPERIOR DE CONTROL	LIMITE INFERIOR DE CONTROL
VERANO	0.00476	0.00745	0.00206
OTOÑO	0.00381	0.00597	0.00165

Los límites están en WL

Son 5 los puntos que están fuera de los límites de control en la estación de verano, lo que representa un 15.6 % de los datos del muestreo incluyendo al intervalo del extremo. Todos ellos están por debajo del límite inferior, el menor corresponde a las 6.00 a.m. en el momento en que se inicia el muestreo, que en esta estación es la concentración más baja. Los otros 4 puntos se presentan a las 14.00, 15.00, 16.00 y en la mañana a la 1.00 a.m. Estos datos se deben principalmente a que el resultado de la diferencia entre la mayor concentración y la menor para cada casa a esa hora es muy pequeño. Es decir el intervalo en el que fluctúan los datos del muestreo es muy pequeño. Dando como resultado concentraciones muy bajas.

Si no consideramos al intervalo del extremo se encuentra solo un dato fuera del límite inferior que representa el 3.12% de los puntos.

Para otoño todos los puntos están dentro de los límites de control cuando se incluye el intervalo del extremo. Pero cuando no se considera solo son 2 los puntos que salen del límite superior de control, representando el 6.25%. Esto se observa en los puntos a las 5.00 a.m. y 6.00 a.m., donde se representa la mayor concentración.

La tabla 4.9 muestra los límites de control y promedios para datos y rangos para las dos estaciones, los cuales se calculan con y sin intervalo del extremo.

Los límites establecen la variación máxima y mínima (obtenida estadísticamente) de la concentración

Tabla 4.9 Límites de control y promedios para los 22 muestreos en verano y otoño.

		ESTACION	
		VERANO	OTOÑO
SIN INTERVALO DEL EXTREMO	PROM x S	0 00162	0 00167
	PROM r S	0 00335	0 00319
	LSC x S	0 00218	0 00220
	LIC x S	0 00106	0 00113
	LSC r S	0 00525	0 00500
	LIC r S	0 00145	0 00138
CON INTERVALO DEL EXTREMO	PROM x C	0 00208	0 00191
	PROM r C	0 00476	0 00381
	LSC x C	0 00289	0 00255
	LIC x C	0 00130	0 00127
	LSC r C	0 00745	0 00597
	LIC r C	0 00205	0 00165

S= Sin intv del extremo, C= Con intv del extremo, LSC= Limite superior de control, LIC= Limite inferior de control, X= Datos, R= Rango Valores en WL

Cálculo de la concentración promedio.¹¹

La concentración promedio en WL de la zona monitoreada se calcula utilizando la media aritmética \bar{X} y la geométrica \bar{A} para las 22 casas en las dos estaciones. Para el cálculo de estas medias se emplean los WL promedio que reporta el equipo para cada una de las muestras. Y se basa en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Media aritmética } \bar{X} = 1/n (X_1 + X_2 + \dots + X_n)$$

$$\text{Media geométrica } \bar{A} = (A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n)^{1/n}$$

En la tabla 4.10 se muestran las concentraciones promedio para ambas estaciones.

Tabla 4.10 Concentraciones promedio para verano y otoño en la delegación de Tlalpan.

	ESTACION	
	VERANO	OTOÑO
MEDIA ARITMETICA \bar{X}	0.00210 WL	0.00191 WL
MEDIA GEOMETRICA Δ	0.00176 WL	0.00171 WL
RANGO	0.00576 WL	0.00352 WL
+/- % DE VARIACION	6.40	6.10
σ_n	0.00141 WL	0.00093 WL
σ_{n-1}	0.00144 WL	0.00095 WL

Para pasar de WL a Bq/m3 EER, multiplicar por 3700

Para pasar de WL a pCi/L, multiplicar por 200

Las figuras 15 y 16 muestran los histogramas de frecuencia obtenidos para las 22 casa muestreadas en las dos estaciones. Se eligieron 8 intervalos de clase. El histograma de verano muestra un 90.87% de los datos cargado a la izquierda en donde las concentraciones son muy bajas (intervalo 1,2,3) y como se puede observar son menores a 0.00286 WL, en los siguientes 3 intervalos no apareció ningún dato, pero en los dos últimos intervalos se presentó una muestra en cada uno con un porcentaje del 4.54%. El rango fué de 0.00576 WL.

Para otoño de igual manera que en verano se presentó la mayor incidencia de los datos hacia la izquierda del histograma, donde se localizan las concentraciones mas bajas con un porcentaje total del 54.54% en los primeros dos intervalos. El cuarto intervalo presentó una muestra mas que el tercer y quinto intervalo, dando como porcentaje total para los primeros 5 intervalos el 86.35%. Y en los 3 últimos intervalos se presentó un solo dato el cual representa el 4.54%

FIG. 15 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA LAS 22 CASAS
EN VERANO

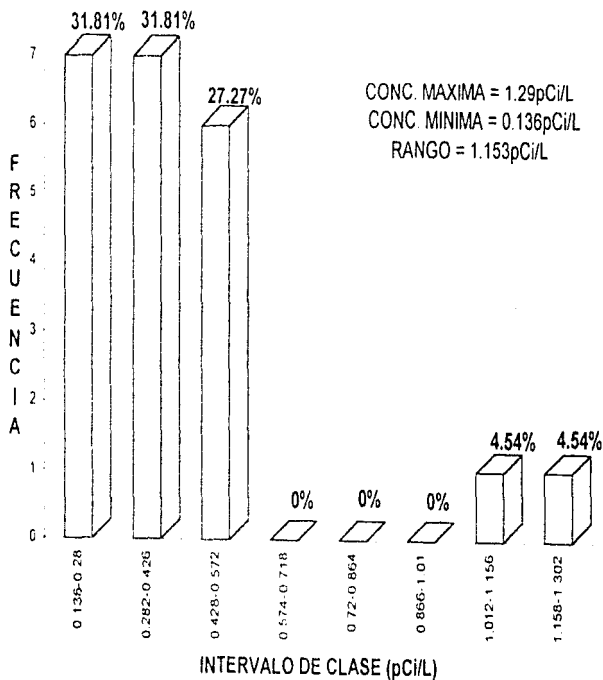
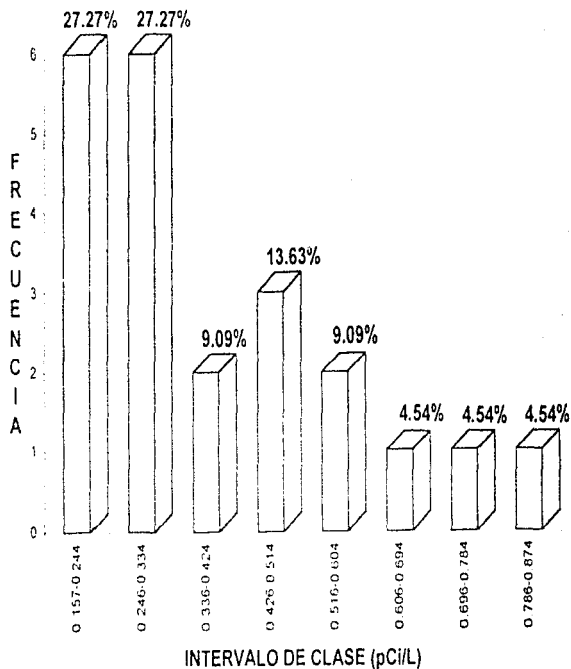


FIG. 16 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA LAS 22 CASAS EN OTOÑO



para cada uno. Siendo compatibles ambos histogramas con una distribución logarítmica normal.

Medidas por duplicado y medidas blanco.

Como se comentó en el capítulo anterior, es parte importante del control de calidad llevar a cabo este tipo de mediciones. En la tabla 4.11 se ilustran los resultados de los duplicados con su respectiva muestra. También se muestran los blancos medidos en el exterior de una casa.

Se realizaron 2 duplicados por estación en dos diferentes casas y 2 blancos en una sola casa. También se realizó una medición de 5 días en la estación de verano de 1996 y así observar la variación diurna y nocturna en el interior. Este comportamiento se puede observar en la figura 19.

Para los blancos de 24 horas en cada uno se obtuvieron concentraciones muy bajas, por debajo de la mayoría de las medias tomadas en interiores. Esto se debe a que el muestreo se efectuó en un ambiente con baja concentración. En las figuras 17 y 18 se dibujan los límites de control y promedios con y sin el intervalo del extremo para los blancos. En la tabla 4.12 se enlista el porcentaje de puntos fuera de los límites de control para ambas estaciones.

El comportamiento que presentan las medidas blanco de verano se debe principalmente a que no se presentaron concentraciones anormales y a que a pesar de una lectura que fue realizada un año después no existió gran variación, quedando dentro de los límites. Ahora si se analiza la estación de otoño vemos que tampoco influyó demasiado en el gráfico, sin embargo al incluir el intv. del extremo 6 puntos quedan fuera debido a que se presentaron concentraciones muy bajas.

La tabla 4.13 muestra los límites de control y los promedios de los datos y rangos calculados con C y sin S la contribución del extremo para los duplicados. El cálculo se realizó utilizando el gráfico de control x-r para una sola muestra.

TABLA 4.11 RESULTADOS DE LOS DUPLICADOS Y BLANCOS PARA VERANO Y OTOÑO.

HORAS DE MUESTREO= 24 INICIO DEL MUESTREO= 6:00 A.M.

ESTACION	MUESTRA	PERIODO	WL PROM	+/- % DE VARIACION	% DE TORON	FONDO WL
VERANO	M1	10 - 11 JULIO - 95	0 00116	7 1	INSIGNIFICANTE	0 000127
	D1	25 - 26 AGO - 95	0 00153	6 43	INSIGNIFICANTE	0 0000668
	M19	14 - 15 AGO - 95	0 00022	5 36	INSIGNIFICANTE	0
	D2	5 - 6 JULIO - 95	0 00237	4 81	INSIGNIFICANTE	0
	B1	28 - 29 AGO 95	0 00052	10 9	INSIGNIFICANTE	0 0001
	B2	8 - 9 SEP 95	0 00082	8 66	INSIGNIFICANTE	0 000167
OTOÑO	M1	4 - 5 OCT 95	0 00097	7 73	INSIGNIFICANTE	0 0000958
	D1	18 - 19 OCT 95	0 000875	8 23	INSIGNIFICANTE	0 0000319
	M2	6 - 7 OCT 95	0 000788	8 75	INSIGNIFICANTE	0 0000639
	D2	6 - 7 SEP - 95	0 000919	7 94	INSIGNIFICANTE	0 0000628
	B1	20 - 21 OCT - 95	0 00104	7 37	INSIGNIFICANTE	0 000127
	B2	12 - 13 DIC -95	0 00115	7 17	INSIGNIFICANTE	0 000033

M= MUESTRA. D= DUPLICADO. B= BLANCO.

Obteniendo así la variación máxima y mínima que estadísticamente representa cada muestreo

Tabla 4.12 Porcentaje de puntos fuera de límites para los blancos.

ESTACION	SIN INTV. DEL EXTREMO		CON INTV. DEL EXTREMO	
	PUNTOS	%	PUNTOS	%
VERANO	0	0	0	0
OTOÑO	9	28.1	6	18.7

Tabla 4.13 Límites de control para duplicados.

		ESTACION			
		VERANO		OTOÑO	
		D1	D2	D1	D2
SIN INTERVALO DEL EXTREMO	PROM x S	0.00219	0.00134	0.00078	0.00082
	PROM r S	0.00037	0.00023	0.00018	0.00017
	LSC x S	0.00319	0.00196	0.00128	0.00128
	LIC x S	0.00118	0.00072	0.00028	0.00037
	LSC r S	0.00123	0.00075	0.00061	0.00055
	LIC r S	0	0	0	0
CON INTERVALO DEL EXTREMO	PROM x S	0.00237	0.00153	0.00087	0.00091
	PROM r S	0.00041	0.00027	0.00020	0.00091
	LSC x S	0.00348	0.00226	0.00143	0.00145
	LIC x S	0.00125	0.00079	0.00031	0.00038
	LSC r S	0.00136	0.00089	0.00068	0.00065
	LIC r S	0	0	0	0

FIG. 17 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO PARA LOS BLANCOS EN VERANO

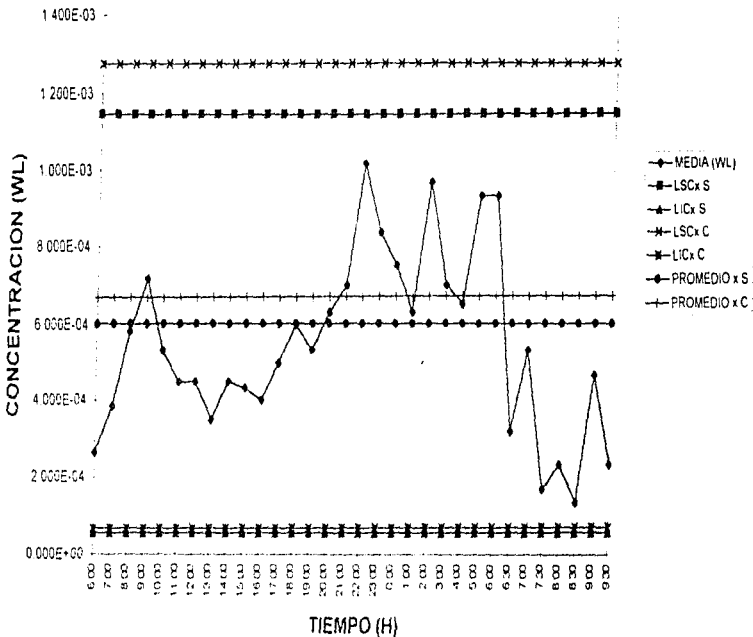
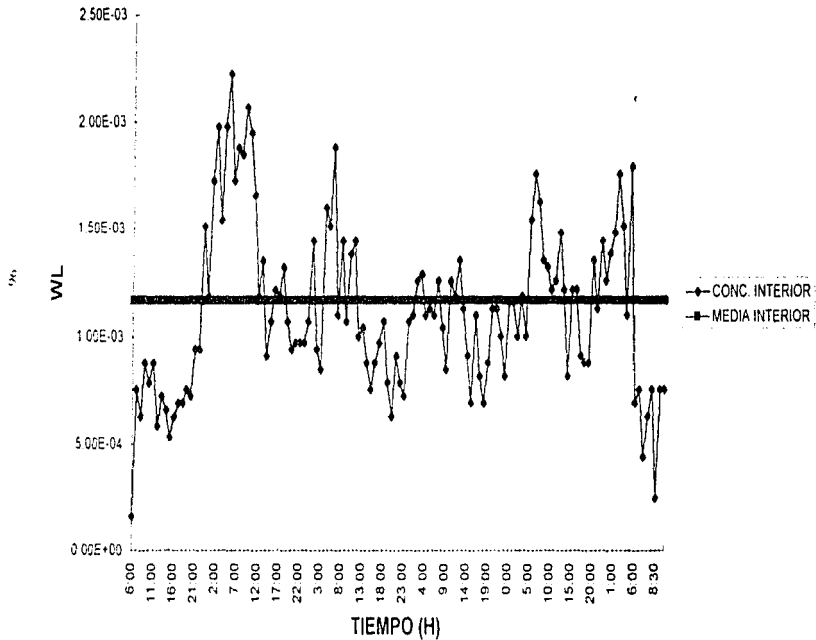


FIG. 19 EVALUACION DE LA CONCENTRACION DE RADON EN EL INTERIOR DURANTE 5 DIAS.



Con respecto a las concentraciones de Radón en exteriores generalmente es aceptable una concentración de 0.0004 a 0.00125 WL. Y basándonos en los límites de control para los blancos en verano podríamos esperar una concentración máxima de 0.00127 WL y mínima de 0.0000707 WL, con un promedio de 0.00673 WL. Estando dentro del intervalo recomendado.

Por su parte en otoño se encontró una concentración máxima de 0.00165 WL y mínima de 0.000534 WL con un promedio de 0.00109 WL.

Para analizar la desviación entre muestra duplicado se aplicó el %RMD (Porcentaje relativo de desviación entre muestra y duplicado)22, el cual está dado por la ecuación

$$\% \text{ RMD} = (| \text{WL PROM} - \text{MEDIA} | / \text{MEDIA}) \times 100$$

En la tabla 4.14 se muestran estos porcentajes de desviación entre muestra y duplicado. En verano el máximo % de desviación es de 13.75, que sin duda se debe a variaciones en las condiciones ambientales de la casa y el % mínimo de desviación en esta estación es de 3.71, siendo reproducibles dentro de este intervalo.

Para la estación de otoño el % máximo de desviación es de 7.69 y el mínimo de 5.43%. De esta manera es importante comentar que estas mediciones de corto tiempo son reproducibles, sin embargo como se puede observar las concentraciones de las muestras no varían mucho en los duplicados. Incluso en las lecturas que se realizaron un año después (D2 para ambas estaciones).

TABLA 4.14 PORCIENTO RELATIVO DE DESVIACION ENTRE MUESTRA Y DUPLICADO.

M= MUESTRA D= DUPLICADO, C= CON INTERVALO DEL EXTREMO, SIN= INTERVALO DEL EXTREMO

ESTACION	MUESTRA	PERIODO	WL PROM C	WL PROM S	% RMD C	% RMD S
VERANO	M1	10 - 11 JULIO - 95	0 00116	0 00105	13 75	12 13
	D1	25 - 26 AGO - 95	0 00153	0 00134		
	M19	14 - 15 AGO - 95	0 00022	0 00204	3 71	3 54
	D2	5 - 6 JULIO - 96	0 00237			
OTOÑO	M1	4 - 5 OCT 95	0 00397	0 00089	5 43	6 58
	D1	18 - 19 OCT 95	0 000875			
	M2	6 - 7 OCT 95	0 000788	0 00069	7 69	9 21
	D2	6 - 7 SEP - 96	0 000919			

4.4 Monitoreo de radiación y ambiental.²⁷

Se realizaron 26 mediciones de radiación y en la delegación de Tlalpan de las cuales (tabla 4 15) 3 fueron (dosímetros 1, 10, 21) y una lectura en exterior. Se utilizaron dosímetros termoluminiscentes de $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Dy} + \text{PTFE}$, diseñados en el ININ. Las lecturas corresponden a las cuatro estaciones del año y fueron normalizadas a 30 días de exposición dando como resultado una exposición de radiación gamma promedio en interiores de $5.0934\text{mR}/30\text{d}$ ($7.074\mu\text{R}/\text{h}$) con una desviación estándar de $0.7352\text{mR}/30\text{d}$ ($1.021\mu\text{R}/\text{h}$). La estación que presentó una mayor exposición fue otoño con $5.774\text{mR}/30\text{d}$ ($8.019\mu\text{R}/\text{h}$) y una mínima exposición se presentó en primavera con $4.645\text{mR}/30\text{d}$ ($6.451\mu\text{R}/\text{h}$).

Por otro lado se realizó una lectura en exterior para cada estación en una misma casa obteniéndose una exposición promedio de $5.012\text{mR}/30\text{d}$ ($6.961\mu\text{R}/\text{h}$). La figura 20 representa los resultados obtenidos para cada estación del año.

TABLA 4.17 LECTURAS DE LOS DOSIMETROS TERMOLUMINISCENTES.

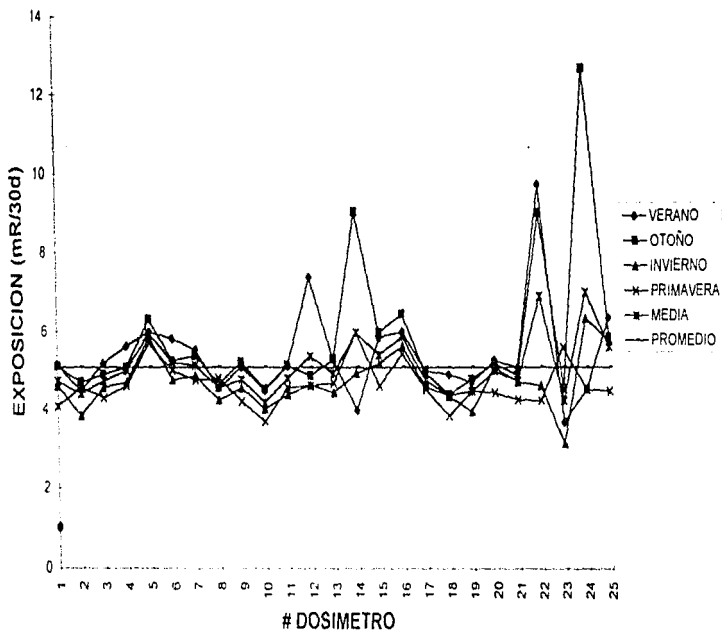
DOSIMETROS DE CaSO₄ Dy + PTFE REFERENCIA 30 DIAS DE EXPOSICION

DOSIMETRO	ESTACION				MEDIA (microR/30d)
	VERANO 26JUN-20SEP-95	OTOÑO 28SEP-6DIC-95	INVIERNO 19DIC-20MAR-96	PRIMAVERA 1ABR-24JUN-96	
*1	5.14	5.12	4.61	4.09	4.74
2	4.49	4.72	3.85	4.59	4.41
3	5.2	4.91	4.58	4.31	4.75
4	5.63	5.09	4.72	4.62	5.02
5	6	6.33	5.65	5.71	5.98
6	5.83	5.26	4.78	5.01	5.22
7	5.54	5.39	4.87	4.77	5.14
8	4.56	4.68	4.25	4.82	4.58
9	5.1	5.23	4.56	4.22	4.78
*10	4.5	4.53	4.02	3.7	4.19
11	5.13	5.15	4.39	4.57	4.81
12	7.39	4.85	4.64	4.63	5.39
13	5.28	5.3	4.44	4.69	4.93
14	3.98	9.04	4.94	5.98	5.99
15	5.86	5.98	5.19	4.62	5.41
16	6	6.46	5.63	5.44	5.88
17	5	4.94	4.6	4.51	4.76
18	4.91	4.39	4.35	3.84	4.37
19	4.7	4.78	3.95	4.48	4.48
20	5.27	5.2	5.09	4.43	5.00
*21	5.09	4.88	4.72	4.26	4.74
22	9.73	9.01	4.63	4.25	6.91
23	3.69	4.54	3.14	5.59	4.24
24	4.54	12.68	6.35	4.52	7.02
25	6.35	5.66	5.76	4.48	5.62
TOTAL	134.92	142.15	117.82	115.12	127.34
PROMEDIO	5.397	5.686	4.713	4.604	5.093
DESV STD					0.7352
EXTERIOR	4.09	4.7	4.07	7.19	5.012

* Duplicados

**FIG. 20 RESULTADOS DE LOS DOSIMETROS DE CaSO₄: Dy+PTFE
EN LA DELEGACION DE TLALPAN**

107



4.5 Control de calidad para el E-PERM.⁹

Para este nuevo dispositivo también se realizaron medidas de control de calidad:

a) Medidas en una cámara de calibración.

Estas son realizadas en un ambiente de R_n conocido, una cámara de calibración, y después son analizadas. Existen instrumentos que muestran resultados inmediatos como los monitores de R_n continuos.

Las mediciones de calibración deben realizarse para determinar y verificar los factores de conversión usados para derivar la concentración resultante. Estos factores son determinados por lo regular por un rango de concentraciones y tiempo de exposición y para un rango de otras exposiciones o condiciones de análisis pertinentes para un dispositivo en particular.

b) Mediciones de fondo.

Son necesarios para ambos monitores continuos y pasivos requiriendo un análisis de laboratorio. Las cámaras del electret son sensibles a la radiación gamma. La señal de R_n equivalente en $\mu\text{Ci/L}$ por unidad de radiación de fondo en $\mu\text{R/h}$ es determinado por el fabricante, para los tres tipos de cámaras disponibles. Estos son 0.07, 0.087, 0.12 para las cámaras H, S y L respectivamente. Dependiendo del tipo de cámara empleada, cada uno de estos valores debe ser multiplicado por el nivel de radiación gamma de el sitio ($\mu\text{R/h}$) y el producto en ($\mu\text{Ci/L}$), restarse a la concentración de R_n aparente.

Como se citó anteriormente (4.1(8)) esta parte del control de calidad se realizó por medio de TLD's, proporcionando así la radiación gamma por casa en cada estación. Y así determinar la radiación gamma promedio a la que están expuestos los habitantes de la delegación de Tlalpan. Ver tabla 4.15.

c) Duplicados .

Los duplicados se utilizan para realizar una verificación de la calidad de las mediciones y permite al usuario una estimación de la precisión relativa. Graves

errores de precisión pueden ser causados por manufactura del detector o datos improprios de transcripción de los laboratorios proveedores Ver tabla 4 17.

d) Evaluación de instrumentos de rutina.

Consiste en la operación apropiada del voltímetro siguiendo el procedimiento mencionado (3(3 4))

4.6 Resultados y análisis de resultados para el E-PERM.

Siguiendo la estrategia de muestreo anteriormente descrita, en la tabla 4 16 se enlistan los resultados obtenidos en cada una de las 22 casas para cada estación del año Dando así el valor de las concentraciones en pCi/L, la desviación estándar poblacional y por muestra. En la siguiente tabla se muestran los periodos de muestreo que abarco cada estación

Periodos de muestreo.

ESTACION	PERIODO
Verano-95	26-Jun -95 al 20-Sep -95
Otoño-95	28-Sep -95 al 6-Dic -95
Invierno 95-96	19-Dic -95 al 20-Mar -96
Primavera-96	1-Abr -96 al 24-Jun -96

En la siguiente tabla se muestran ambas concentraciones y promedios para las cuatro estaciones

ESTACION	CONC. MAXIMA pCi/L	CONC. MINIMA pCi/L	PROMEDIO pCi/L
Verano-95	12.64	0	3.46
Otoño-95	8.48	0	2.013
Invierno 95-96	13.34	1.2	4.68
Primavera-96	7.36	0	2.216

TABLA 4.16 RESULTADOS DEL EPERM PARA EL PERIODO VERANO-95/PRIMAVERA-96
EN LA DELEGACION DE TLALPAN.

CUADRANTE	# DE ELEC.	S.M.	CONCENTRACION P.O.U.				PROMEDIO	DSTD	DSTD	**VERANO-96	
			VERANO-95	OTOÑO-95	INV-96-96	PRIMAVERA-96					
1	2047	S.M.	1.668	0	1.607	2.4	1.455	0.6914	1.0293		
2	2050	S.M.	1.251	3.475	3.059		2.224	2.532	0.85119	0.98287	
3	2037	S.M.	3.225	0	1.39	2.224	1.07726	0.82463	0.95209		
4	2032	M	0	1.607	5.421	3.197	2.60625	1.98135	2.29787	0.1	
5	2034	S.M.	12.649	1.607	3.614	1.607	4.9522	4.4848	5.1902		
6	2011	S.M.	2.055	0	10.703	7.067	5.0387	4.2313	4.8959		
7	2125	S.M.	0	0	3.475	0	0.8687	1.5247	1.7375		
8	2669	S.M.	4.665	5.679	5.679	2.224	4.6217	1.4255	1.6481		
9	2176	S.M.	3.151	2.669	3.614	4.17	4.4827	3.2544	3.7579		
10	2028	S.M.	15.231*	15.316*	15.344	2.919	5.1315	5.2125	7.3715	1.2	
11	2295	M	4.331*	1156.022	2.919	2.919	3.2856	0.5242	0.642	1.8	
12	2160	S.M.	0	0	2.224	1.251	0.6587	2.9343	1.0789		
13	2277	S.M.	2.214	2.224	2.555	2.641	2.4502	1.7024	1.9635		
14	2209	S.M.	116.244*	53.793	1.35	3.834	1.112	0.278	0.3931	0	
15	2275	S.M.	2.934	8.479	2.282	11.391*	4.665	3.1349	3.6395	3.4	
16	2126	S.M.	3.197	2.224	4.665	0	2.6715	1.7595	2.0318		
17	2654	S.M.	1.621	5.4	4.32	1.35	3.1725	1.7327	2.0308		
18	2030	S.M.	1.215	0.679	3.275	1.215	1.62	1.0369	1.1973		
19	2250	S.M.	8.442*	0.671	1.0293	2.01	3.092	3.1311	3.6155		
20	2275	S.M.	32.025*	1.225	13.26	0.636	5.0306	5.8486	7.1606	23.9	
21	2240	S.M.	5.032	1.632	4.25	2.564	3.332	1.3132	1.5164		
22	2221	S.M.	2.319	2.327	2.951	2.419	4.393	2.4503	2.8293		
PROMEDIO POR ESTACION			3.4815	2.0132	4.6347	2.2767	3.1				
2025			Ext	5.591	0.695	11.815	12.093	7.5407	4.7376	5.4705	17.6

S.M.= Sin modificación. DSTD= Desv. standard. DSTD*= Desv. standard de la población

* Lectura no representativa. ** No se considero debido a que realizaron modificaciones en la vivienda

* Lectura adicional para viviendas con concentraciones anormales

La concentración promedio más alta se presenta en la estación de invierno con 4.68 pCi/L. La concentración promedio más alta encontrada en una de las casas (usuario 10) fué de 8.131 pCi/L.

El valor alto de la concentración en el invierno sin duda se debe a que los usuarios tienden a mantener cerrada la casa el mayor tiempo posible o según las bajas temperaturas de la estación lo requieran. También podemos observar en la tabla 4.16 las lecturas obtenidas por el blanco (lectura en exterior) la cual presenta una concentración mayor en la primavera de 12.09 pCi/L y una mínima de 0.695 pCi/L en otoño, con un promedio de 7.541 pCi/L. Dando como concentración promedio anual de 3.1 pCi/L (0.0155 WL), quedando por debajo del nivel de no acción de la EPA 4 pCi/L (0.02 WL).

Algunas lecturas no se tomaron en cuenta para la concentración promedio anual, debido a que no se detectaron o encontraron causas (modificaciones en la construcción) capaces de comprobar las altas concentraciones encontradas, de tal manera que se consideraron lecturas no representativas del muestreo. Sin embargo una de las dos muestras (u-11) que fueron modificadas en su construcción, presentó alta concentración en la estación de otoño y debido a ello no se consideró.

Para revisar el comportamiento y comparar el período de verano de 1995, el cual presentó varias concentraciones muy por encima el promedio, se realizó una medición adicional en algunas casas principalmente en las que presentaron altas concentraciones en 1995. Y como podemos observar en la última columna de la tabla 4.16, las concentraciones obtenidas son mucho menores a las que se obtuvieron en la misma estación pero del año anterior.

El que se hayan presentado concentraciones tan altas pudo deberse a alteraciones en la vivienda y no me refiero a modificaciones en la construcción, sino a que el usuario o otras personas hayan realizado actividades de limpieza más allá de las normales aumentando así la concentración de partículas suspendidas o incluso a que en un cierto período el equipo fué expuesto a campos magnéticos.

Cálculo de la concentración de Rn con el E-PERM.[®]

Para realizar el cálculo e la concentración se utilizaron las siguientes ecuaciones :

$$Rn C = ((I - F) / (CF x D)) - BG$$

I,F son el voltaje inicial y final de los electrets respectivamente,

D, el periodo de exposición.

CF, factor de calibración.

BG, fondo gamma ambiental (pCi/L)

donde

$$CF = a + b \times MPV$$

a y b son constantes para cada tipo de E-PERM

$$MPV = (V1 + V2) / 2$$

de la tabla 3 4 se obtiene que para la cámara tipo LLT

$$a = 0.02723 \quad \text{y} \quad b = 0.000012795$$

el fondo gamma BG es el calculado en la sección 4.4 el cual es igual 7.074 μ R/h(0.848 pCi/L)

En estas ecuaciones forman parte del programa EPERMDB, el cual se utilizó para el cálculo de las concentraciones. El programa realizaría la siguiente secuencia de cálculo :

Ejemplo Para el usuario #8 en la estación de verano se obtuvieron los siguientes datos :

$$V1 = 712 \quad \text{y} \quad V2 = 699$$

$$D = 82.95 \text{ días} \quad \text{y} \quad BG = 0.848 \text{ pCi/L}$$

$$CF = 0.02723 + 0.000012795 \times (712+699)/2 = 0.03625 \text{ V/pCi/L} \times \text{ día}$$

$$\therefore Rn C = ((712-699)/(82.95 \times 0.03625)) - 0.848 = 3.47 \text{ pCi/L}$$

La concentración de Rn es de 3.47 pCi/L, sin embargo como se realizó la medición a más de 1000 ft arriba del nivel del mar, se debe hacer una corrección por altura. Y el factor de corrección para este usuario a 2520 msnm es 1.39 (tabla 3.5); por lo que al multiplicar este valor por la concentración de Rn antes calculada, se obtiene una concentración final para esta casa de 4.865 pCi/L.

Las figuras 21, 22, 23 y 24 muestran los histogramas de frecuencia que se obtienen con los datos de las 22 casas en las 4 estaciones. Se escogieron 8 intervalos de clase, dando como resultado para la estación de verano el 42.1% de los datos en el primer intervalo, donde se encuentran las concentraciones más bajas, seguido por dos intervalos que abarcan el 26.3%, dando como resultado 12 datos (63.15%) inferiores a 4 pCi/L (0.02 WL) y 10 valores por encima de este valor que equivale al 36.84%, sin embargo tres datos no se tomaron en cuenta debido a que se consideraron lecturas no representativas del muestreo (usuario 10, 14 y 20).

Para el otoño se presentó la mayor frecuencia de datos en los cuatro primeros intervalos con un 84.24% de los datos. De los cuales 16 están por debajo de 4 pCi/L (84.21%) y en los cuatro restantes por arriba (15.78%). Sin tomarse en cuenta las lecturas de los usuarios 10, 11, 14 por considerarse no representativas del muestreo. En invierno (95-96) los tres primeros intervalos abarcan el 86.35% de los datos y en los dos últimos intervalos el 13.63%. Son 12 los datos (54.54%) por debajo de 4 pCi/L. Y por último en primavera el 95.21% de los datos está en los primeros cinco intervalos, de donde se observa el 86.36% de los datos por debajo del límite de no acción de la EPA; dejando el 4.76% en los tres intervalos de clase restantes.

En la figura 25 también se analiza al histograma para el promedio anual de cada casa, dando como resultado el 72.72% de los datos en los primeros cuatro intervalos de confianza con 14 casas (63.63%) con concentraciones promedio menores a 4 pCi/L. En los últimos 4 intervalos el porcentaje total fué de 27.26%.

FIG. 21 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LAS MUESTRAS EN VERANO OBTENIDAS POR EL EPERM

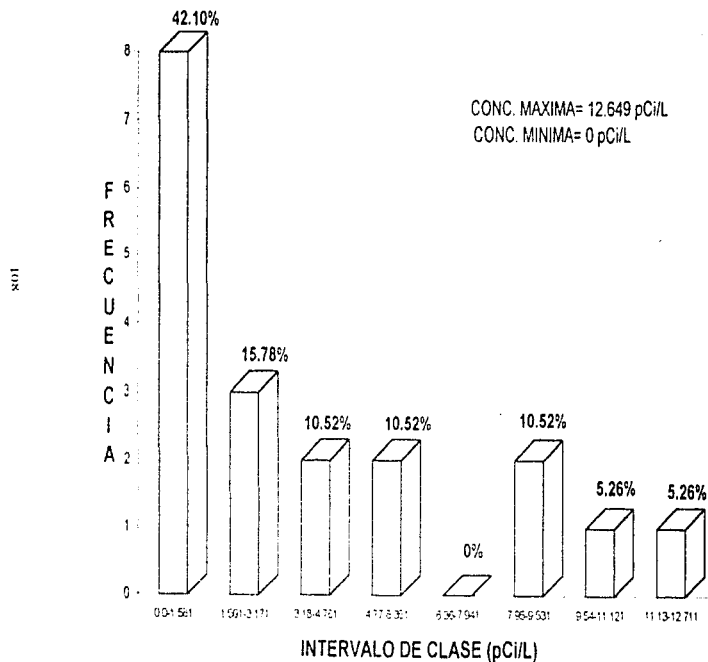


FIG. 22 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LAS MUESTRAS EN OTOÑO OBTENIDAS POR EL EPERM

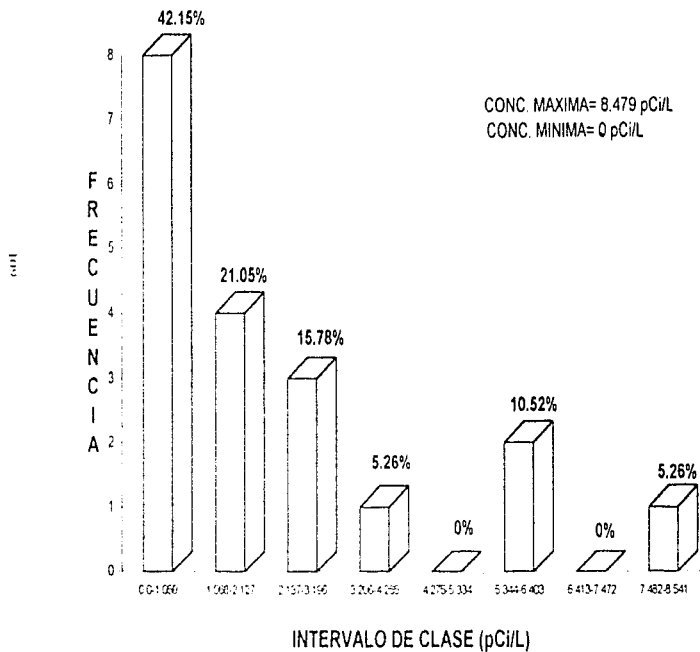


FIG. 23 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LAS MUESTRAS EN INVIERNO OBTENIDAS POR EL E-PERM

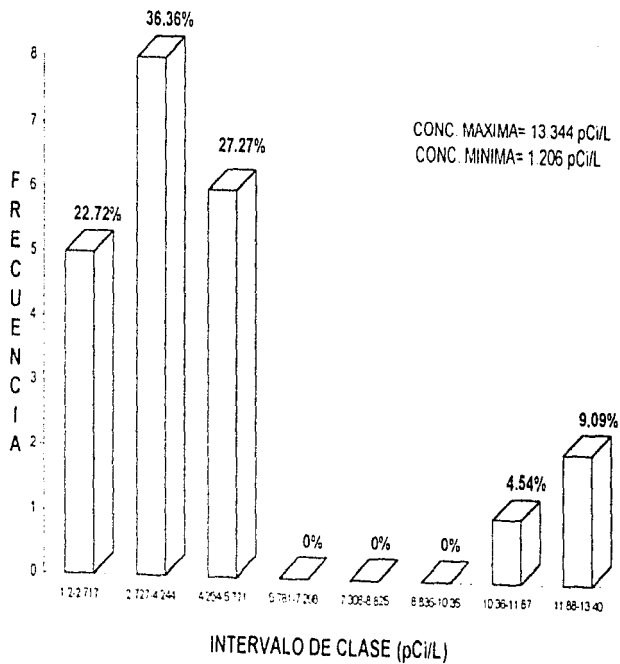


FIG. 24 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LAS MUESTRAS EN PRIMAVERA OBTENIDAS POR EL EPERM

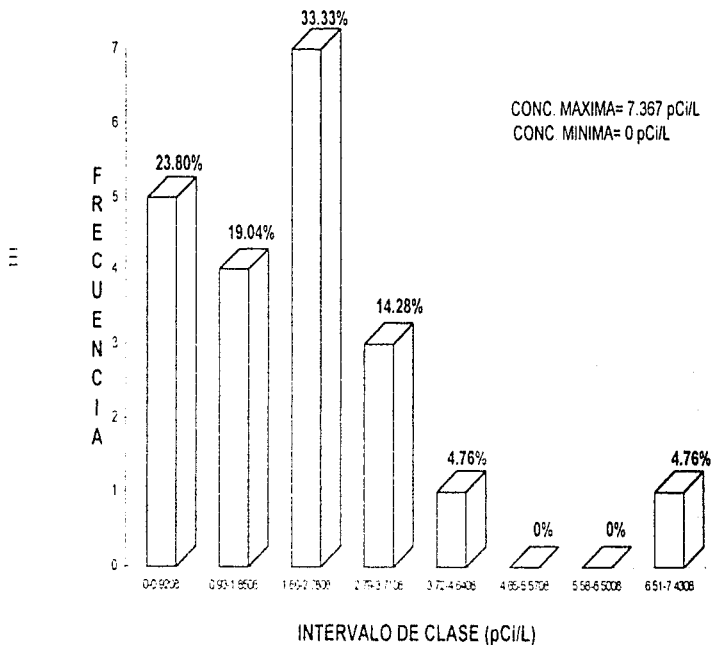
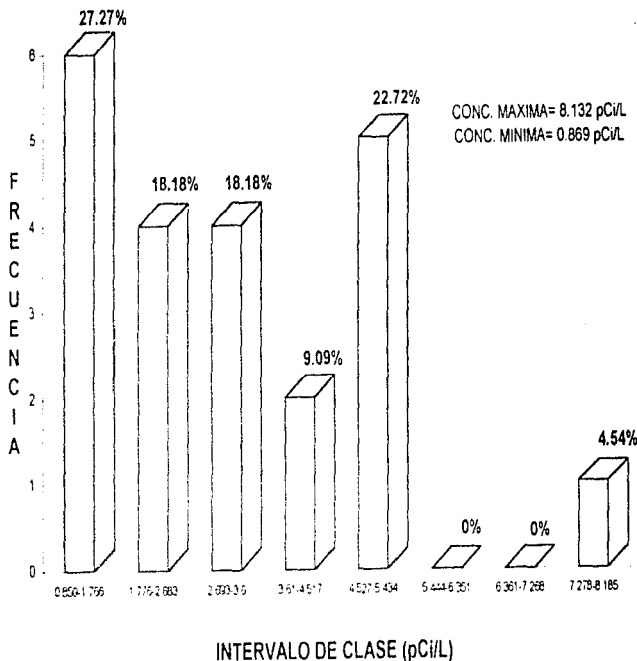


FIG. 25 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA EL PROMEDIO ANUAL DE CADA CASA



En el capítulo 3 secc 3.5 se menciona los tipos de error asociados a las lecturas : volumen de la cámara (E1) que ha sido encontrado menor al 5% y puede ser tomado como ± 0.05 , a la lectura del voltaje de los electrets (E²) y a la radiación gamma (E3) Siendo el error total igual a :

$$ET(\%) = \sqrt{((E1)^2 + (E2)^2 + (E3)^2)}$$

por ejemplo para la muestra # 1 en la estación de verano se tienen los siguientes datos

$V_i = 692$ $V_f = 686$ $CF = 0.000974$ $V/Bq/m^3 \times d$ $T = 83.72$ días y $BG = 0.848$ pCi/L

El error en el cálculo de la concentración E1 es

$$E1 = \pm 0.05 \times \frac{(692 - 686)}{(9.74 \times 10^{-4} \times 83.72)} = 3.679$$

El error fraccional asociado con la diferencia de dos lecturas e voltaje es

$$E2 = \pm \sqrt{2} / (CF \times T)$$

$$E2 = 1.41 / (9.74 \times 10^{-4} \times 83.72) = 17.16$$

y el error E3 asociado a la medida del fondo y encontrado, con una incertidumbre máxima del 10% por tanto

$$E3 = 0.10 \times 0.848 pCi/L \times \frac{(37 Bq/m^3)}{(1 pCi/L)} = 3.14$$

por lo tanto el error total en la concentración calculada para esta muestra en la estación de verano es :

$$ET = \sqrt{((3.679)^2 + (17.16)^2 + (3.14)^2)} = 17.83\%$$

La tabla 4.17 muestra el error total encontrado por muestra para las cuatro estaciones. El máximo % de error se presentó en la estación de verano (22.5%)

**TABLA 4.17 ERRORES ASOCIADOS AL EPERM EN RELACION A LOS DATOS
OBTENIDOS EN TLALPAN**

USUARIO	# DE ELEC	VOLTAJES											
		VERANO 95			OTOÑO 95			INVIERNO 95-96			PRIMAVERA		
		Vi	Vf	ET (%)	Vi	Vf	ET (%)	Vi	Vf	ET (%)	Vi	Vf	ET (%)
1	2247	682	686	17.83	686	685	21.91	685	678	16.83	678	668	19.02
2	2260	728	723	18.05	723	715	22.52	715	705	17.02	705	698	18.43
3	2007	714	710	17.33	710	708	21.8	708	702	16.61	702	695	18.49
4	2022	680	678	18.13	678	673	22.03	673	658	18.8	658	649	19.19
5	2004	716	687	25.65	687	682	21.95	682	671	17.58	671	665	18.53
6	2011	729	722	18.06	722	720	21.74	720	692	22.74	692	674	21.09
7	2725	708	705	17.53	705	704	21.91	704	693	17.45	693	691	18.04
8	2668	712	699	19.24	699	687	23.42	687	671	18.8	671	664	18.7
9	2179	706	693	22.59	693	680	21.77	680	669	17.6	669	658	19.5
10	2028	710	625	58.7	625	516	88.38	516	484	25.82	484	476	20.1
11	2265	708	697	18.79	697	556	116.3	556	547	18.16	547	538	19.88
12	2160	726	725	17.38	725	724	21.78	724	716	16.7	716	711	17.73
13	2277	725	722	17.48	722	716	21.9	716	705	17.15	706	698	18.84
14	2009	716	379	223.5	379	295	77.12	295	290	19.2	290	285	20.72
15	2275	699	695	18.36	695	678	24.84	678	663	18.58	663	623	31.48
16	2728	724	715	18.91	715	709	21.65	709	695	18.24	695	693	17.81
17	2664	715	709	18.24	709	699	24.29	699	684	17.2	684	679	19.48
18	2030	697	692	18.25	692	689	22.08	689	678	17.14	678	673	17.98
19	2250	693	672	22.27	672	669	22.28	669	663	15.92	663	657	20.57
20	2278	709	637	49.05	637	633	22.3	633	597	25.51	597	594	20.71
21	2240	689	676	19.83	676	671	21.52	671	658	17.13	658	650	18.52
22	2223	717	697	21.68	697	691	22.01	691	681	16.35	681	673	18.38

$$\text{ERROR TOTAL (ET)} = ((E1^2) + (E2^2) + (E3^2))^{1/2}$$

E1= Error debido a imperfecciones en el volumen de la cámara espesor del electrolito y otros parámetros

E2= Error en la lectura del voltaje

E3= Error debido a la incertidumbre en el fondo gamma

para el usuario 14, sin duda por la diferencia de voltajes, la cual es muy grande. El mínimo % de error se presentó en la estación de invierno (15.92%) para el usuario 19.

Análisis de resultados.

Las mediciones por duplicado nos ayudan a vigilar la calidad de las mediciones realizadas y permiten hacer un estimado de la precisión relativa. Para realizar el análisis de los duplicados se calcula el coeficiente de la variación o desviación estándar relativa. Es una medida de la precisión, calculada como la desviación estándar de un grupo de valores divididos por el promedio y se expresa como un porcentaje.

$$COV = (\sigma / x_{prom}) \times 100$$

donde

σ = desv estándar.

x_{prom} = promedio de datos.

También se utilizó la diferencia porcentual relativa para medir la precisión:

$$RPD = |X1 - X2| / X_{prom} \times 100$$

donde

X1 = Conc. observada con el primer detector o equipo.

X2 = Conc. observada en el segundo detector o equipo.

X_{prom} = Prom. de las dos concentraciones observadas.

El coeficiente de variación y la diferencia porcentual relativa brindan una medida de la precisión, pero no son iguales.

Realizando los dos tratamientos antes mencionados, en la tabla 4.18 se muestran los coeficientes de variación de los duplicados para las cuatro estaciones del año. Se tomaron tres duplicados mostrando una mayor imprecisión.

**TABLA 4.18 COEFICIENTE DE VARIACION PARA DUPLICADOS OBTENIDOS
CON EL EPERM EN TALPAN**

D1	# DE ELECT		CONCENTRACION(CuL)				PROMEDIO
			VERANO-95	OTONO-95	INV. 95-96	PRIMAV.-96	
D1	2247	SIM	1 668	0	1 607	2 4	1 468
	2665	DUPLICADO	2 665	1 607	3 475	1 251	2 154
		PROMEDIO	1 8765	0 9035	2 641	1 825	
		DSTD	0 2948	1 277	1 179	0 8124	
		DSTDP	0 2085	0 9035	0 834	0 5745	
		COV (%)	15 71	141 4	44 66	44 5	
		RPD (%)	22 22	200	63 157	62 92	
D8	2668	SIM	4 665	5 669	5 699	2 224	4 621
	2017	DUPLICADO	10 842	1 112	5 282	5 143	5 594
		PROMEDIO	7 853	3 405	5 49	3 683	
		DSTD	4 226	3 243	0 2948	2 064	
		DSTDP	2 698	2 293	0 2085	1 459	
		COV (%)	53 81	95 24	5 369	56 033	
		RPD (%)	75 105	134 69	7 594	79 24	
D18	2030	SIM	1 215	0 675	3 375	1 215	1 62
	2932	DUPLICADO	8 64	1 755	2 16	1 215	3 442
		PROMEDIO	4 9275	1 215	2 7675	1 215	
		DSTD	5 2502	0 7636	0 8591	0	
		DSTDP	3 7125	0 54	0 6075	0	
		COV (%)	106 54	62 847	31 042	0	
		RPD (%)	150 69	68 88	43 9	0	

SIM= SIN MODIFICACION. DSTD= DESV STANDARD. DSTDP= DESV STD DE LA POBLACION
COV= COEFICIENTE DE VARIACION RPD= DIFERENCIA PORCENTUAL RELATIVA.

en el duplicado 1 con un COV de 141% y un RPD de 200% para la estación de otoño, ya que la concentración para la muestra fué de 0 pCi/L Y la mayor precisión se encontró en la estación de primavera con el duplicado 3 (D18), debido a que ambas concentraciones, muestra y duplicado fueron iguales (1.215pCi/L) ; dando así un COV y un RPD del 0%

El COV promedio para la muestra-duplicado en la delegación de Tlalpan es de 54.76%, es un poco elevado debido a que se tomaron en cuenta las lecturas que presentaron un COV de 141% y 200%

Como una estimación de la precisión, pero en conjunto para lo duplicados se realizó el cálculo siguiente un estimado derivado de diferentes grupos de duplicados calculado como

$$S^2_{dp} = \frac{S^2_{d1}(m_1-1) + S^2_{d2}(m_2-1) + S^2_{dn}(m_n-1)}{(m_1-1) + (m_2-1) + (m_n-1)}$$

donde

S^2_{dp} = varianza de la población .

S^2_{d1} = varianza observada con el primer grupo de detectores o equipos,

S^2_{d2} = varianza observada con el segundo grupo de detectores o equipos,

m_1 = tamaño de la muestra del primer grupo de detectores.

m_2 = tamaño de la muestra del segundo grupo de detectores.

La varianza se calcula de la siguiente forma

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - X_{prom})^2}{n - 1}$$

En la tabla 4.19 se muestran los estimados grupales de la varianza, para los duplicados efectuados en cada estación LA estación de verano fué la que presentó una mayor varianza grupal (15 17pCi/L) y la que presentó una menor

**TABLA 4.19 ESTIMACION GRUPAL DE LA VARIANZA PARA LOS DUPLICADOS
OBTENIDOS CON EL EPERM EN TALPAN**

D1	# DE ELECT		CONCENTRACION P/DLI				PRC MEDIO	DSTDP	DSTO
			VERANO 96	OTOÑO 96	INV 96-96	PRIMAVERA 96			
D1	2247	S/M	1 666	0	1 807	2 4	1 468	0 8914	1 0293
	2666	DUPLICADO	2 066	1 607	3 475	1 251	2 154	0 8193	0 9461
		PROMEDIO	1 8765	0 6036	2 641	1 825			
		DSTD	0 2948	1 277	1 179	0 8124			
		VAR	0 0866	1 6326	1 3511	0 6601			
D8	2666	S/M	4 266	5 699	5 656	2 224	4 621	1 419	1 638
	2917	DUPLICADO	10 642	1 112	5 292	5 143	5 594	3 461	3 997
		PROMEDIO	7 6535	3 4056	5 4006	3 6835			
		DSTD	4 2093	0 2434	0 2948	2 064			
		VAR	17 691	10 516	0 0369	4 26			
D18	2030	S/M	1 215	0 676	3 375	1 215	1 62	1 036	1 197
	2032	DUPLICADO	8 64	1 765	2 16	1 215	3 442	3 016	3 486
		PROMEDIO	4 9275	1 215	2 7675	1 215			
		DSTD	5 252	0 7638	0 9551	0			
		VAR	27 594	0 563	0 738	0			
		Sdp	15 17	4 245	0 7386	1 64			

S/M= SIN MODIFICACION, DSTO= DESV STANDARD DSTDP= DESV STD DE LA POBLACION
VAR= VARIANZA

varianza grupal fué invierno (0.7386pCi/L) La varianza grupal promedio para la delegación entre muestra-duplicado es de 5.34pCi/L.

Para los duplicados también se determinó el % de error total, siguiendo las ecuaciones del capítulo 3 (3.5) En la tabla 4.20 se muestran los errores presentes entre muestra y duplicado, siendo prácticamente del mismo orden.

4.7 Determinación del factor de equilibrio.

El factor de equilibrio nos proporciona la relación hijos del Radón/Radón, presente en un sitio determinado Para determinar este factor utilizamos una cámara tipo H (1000 mL de volumen) y un electret de corto plazo para medir la concentración de Radón y el CWLM para medir la concentración de los hijos del Radón. Se realizaron dos lecturas una en otoño y la otra en invierno de 1995, durante un periodo de 5 días cada una y al término de este periodo el factor de equilibrio encontrado fué de

ESTACION	FACTOR DE EQUILIBRIO
Otoño	0.3527
invierno	0.4669
Promedio	0.4098
σ	0.0571

por lo tanto

$$\text{Factor de equilibrio} = \frac{[\text{hijos de Radón}]}{[\text{Radón}]} = 0.4098$$

es decir que la concentración hallada de los hijos del Radón multiplicada por 2.44, da como resultado la concentración de Radón

**TABLA 4.20 ERRORES ASOCIADOS AL EPERM EN RELACION A LOS DUPLICADOS
OBTENIDOS EN TALPAN**

# DE ELEC	VOLTAJES												
	VERANO-95			OTOÑO-95			INVIERNO 95-96			PRIMAVERA-96			
	V _i	V _f	ET (%)	V _i	V _f	ET (%)	V _i	V _f	ET (%)	V _i	V _f	ET (%)	
D1	2247	692	686	17.83	686	685	21.91	685	678	16.83	678	668	19.02
	2665	715	708	17.83	705	703	22.09	703	692	17.43	692	687	18.32
D8	2669	712	699	19.24	699	687	23.42	687	671	18.8	671	664	18.7
	2017	722	696	23.68	696	692	22.15	692	677	18.49	677	664	19.95
D18	2030	697	692	18.25	692	689	22.08	689	678	17.14	678	673	17.98
	2032	677	656	22.56	656	651	22.59	651	643	16.82	643	638	18.2

4.8 Predicción de la concentración promedio anual en interiores para la delegación de Tlalpan.

Existen ecuaciones que pueden realizar una predicción de la concentración promedio anual (ALAA), a partir de mediciones de corto término. Se sabe experimentalmente que la relación entre la ALAA y mediciones de dos días no es lineal y que la variación en la ALAA tiende a incrementarse conforme la medición de dos días se incrementa. Las siguientes ecuaciones predicen la concentración promedio anual, según la estación basadas en muestreo de dos días.

ESTACION	ECUACION DE PREDICCIÓN	R2	σ
I	$\ln(\text{ALAA}) = 1.28 + 0.68 \ln X$	0.61	0.46
P	$\ln(\text{ALAA}) = 1.48 + 0.66 \ln X$	0.68	0.41
V	$\ln(\text{ALAA}) = 2.29 + 0.53 \ln X$	0.47	0.52
O	$\ln(\text{ALAA}) = 1.24 + 0.71 \ln X$	0.66	0.45

ALAA = Concentración promedio anual en interiores. X = Concentración monitoreada en Bq/m³ EER.

I = Invierno, P = Primavera, V = Verano, O = Otoño

Cuando σ (error estándar promedio) aumenta, la predicción se vuelve menos precisa. El intervalo de 95% de confianza para predecir un valor de ALAA puede ser aproximado como

$$95\% \text{ CI} = (\text{ALAA} e^{-2\sigma} - \text{ALAA} e^{2\sigma})$$

Conforme σ disminuye, el ancho del intervalo se reduce y la precisión del valor predicho mejora.

Para evaluar la ALAA se utilizaron las ecuaciones que corresponden a las estaciones de verano y otoño, utilizando un valor de σ de 0.52 y 0.45, respectivamente. También se midió el factor de equilibrio entre los hijos del Radón y el Radón. El factor hallado es 0.4098, el cual fue utilizado para determinar la concentración de Radón presente en cada una de las casas para ambas estaciones (secc. 4.7). En las tablas 4.21 y 4.22 se observa que para la

TABLA 4.21 PREDICCIÓN DE LA CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL DE RADON BASADA EN LOS DATOS OBTENIDOS EN VERANO.

MUESTRA	CONC RADON (WL)	ALAA pCi/L	IC INFERIOR µCi/L	IC SUPERIOR pCi/L	ALAA Bq/m3 EER	IC INFERIOR Bq/m3 EER	IC SUPERIOR Bq/m3 EER
1	2.847E-03	1.859	0.657	5.260	34.398	12.158	97.322
2	1.792E-03	1.454	0.514	4.114	26.911	9.511	76.138
3	3.841E-03	2.178	0.770	6.162	40.303	14.245	114.027
4	1.574E-02	4.602	1.627	13.020	85.155	30.098	240.923
5	6.978E-03	2.99	1.057	8.459	55.322	19.554	156.520
6	3.821E-03	2.172	0.768	6.145	40.201	14.209	113.739
7	1.782E-03	1.45	0.513	4.102	26.830	9.483	75.908
8	5.439E-03	2.62	0.926	7.413	49.474	17.133	137.145
9	4.611E-03	2.4	0.848	6.790	44.409	15.696	125.642
10	3.990E-03	2.222	0.785	6.287	41.135	14.539	116.382
11	3.691E-03	2.212	0.782	6.258	39.467	13.949	111.661
12	2.882E-03	1.871	0.661	5.293	34.620	12.236	97.950
13	5.043E-03	2.516	0.889	7.118	46.568	16.459	131.752
14	4.448E-03	2.354	0.832	6.660	43.571	15.400	123.270
15	1.368E-02	4.304	1.521	12.177	79.653	28.153	225.356
16	1.672E-03	1.402	0.496	3.967	25.945	9.170	73.404
17	6.527E-03	2.866	1.020	8.165	53.392	18.871	151.058
18	6.924E-03	2.976	1.052	8.420	55.087	19.470	155.854
19	5.354E-03	2.598	0.916	7.350	48.069	16.990	135.999
20	2.701E-03	1.808	0.639	5.115	33.451	11.823	94.640
21	3.027E-03	1.92	0.679	5.432	35.532	12.559	100.529
22	5.837E-03	2.72	0.961	7.695	50.320	17.786	142.368
PROMEDIO		2.432			44.946		

ALAA= CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL IC= 95% INTERVALO DE CONFIANZA

TABLA 4.22 PREDICCIÓN DE LA CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL DE RADON BASADA EN LOS DATOS OBTENIDOS EN OTOÑO

MUESTRA	CONC RADON (W/L)	ALAA pCi/L	IC INFERIOR pCi/L	IC SUPERIOR pCi/L	ALAA Bq/m3 EER	IC INFERIOR Bq/m3 EER	IC SUPERIOR Bq/m3 EER
1	2 367E-03	0 871	0 354	2 142	16 114	6 556	39 664
2	1 924E-03	0 752	0 306	1 850	13 912	5 661	34 255
3	2 593E-03	0 930	0 378	2 288	17 209	6 997	43 549
4	6 941E-03	1 871	0 751	4 602	34 614	14 075	85 137
5	3 777E-03	1 214	0 494	2 986	22 459	9 135	55 278
6	3 691E-03	1 155	0 485	2 939	22 108	8 931	54 390
7	2 068E-03	0 792	0 322	1 946	14 656	5 957	36 049
8	5 002E-03	1 483	0 603	3 648	27 436	11 152	67 451
9	5 641E-03	1 615	0 557	3 972	29 878	12 147	73 482
10	4 350E-03	1 343	0 545	3 303	24 846	10 101	61 087
11	3 479E-03	1 145	0 465	2 819	21 201	8 617	52 133
12	3 823E-03	1 225	0 498	3 013	22 663	9 217	55 759
13	1 051E-02	2 512	1 021	6 179	46 472	18 903	114 367
14	5 519E-03	1 590	0 646	3 911	29 415	11 962	72 335
15	5 398E-03	1 565	0 636	3 849	28 953	11 777	71 225
16	2 725E-03	0 963	0 382	2 368	17 816	7 248	43 845
17	8 784E-03	2 212	0 899	5 441	40 922	16 635	100 640
18	6 034E-03	2 075	0 844	5 105	38 406	15 618	94 461
19	3 652E-03	1 232	0 501	3 030	22 792	9 265	56 055
20	2 471E-03	0 699	0 366	2 211	16 632	6 760	40 885
21	2 986E-03	1 026	0 416	2 528	19 018	7 733	83 768
22	6 958E-03	1 874	0 762	4 609	34 669	14 101	85 285
PROMEDIO		1 351			25 559		

ALAA= CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL IC= 95% INTERVALO DE CONFIANZA

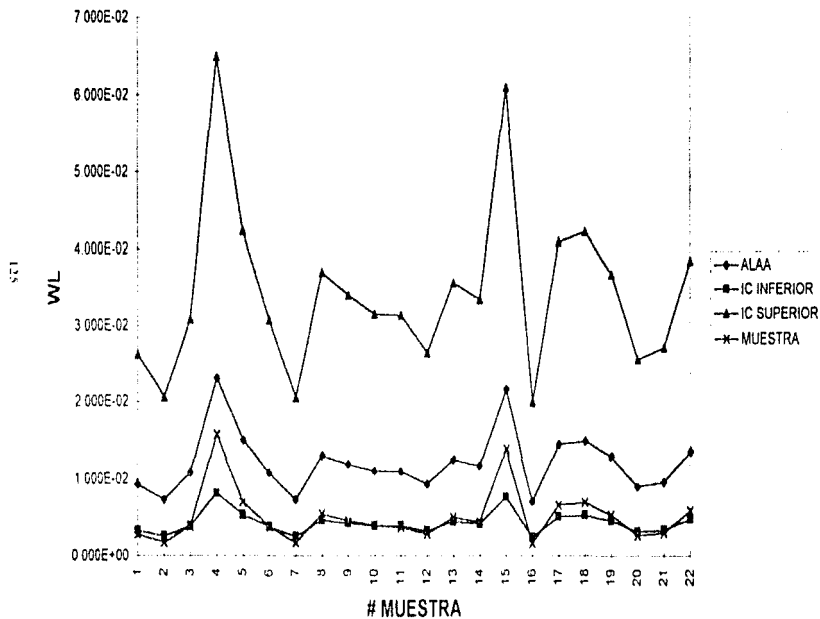
estación de verano las muestras 4 y 15 están en el límite de concentración de acción de la EPA (0.02WL). En otoño no se presentó ningún valor de ALAA por encima del límite establecido por la EPA.

Pero si analizamos el comportamiento de cada ecuación, para estación de verano el valor de σ (0.52) es mucho mayor al de otoño (0.45), dando como resultado intervalos de confianza superiores a 0.2WL. Brindando así una menor precisión en comparación con los intervalos de confianza de otoño, que solo presentaron algunos intervalos superiores por encima de 0.02WL, siendo así más confiables. En las figuras 26 y 27 se muestran gráficamente los resultados obtenidos, junto con el valor predicho en base al promedio de las 22 muestras para ambas estaciones.

Sin embargo también existen ecuaciones que predicen la ALAA a partir de la media entre dos lecturas realizadas en dos estaciones del año²³. En la figura 28 se dibuja la ALAA a partir de la media de las lecturas realizadas en verano y otoño. La ecuación que describe este comportamiento es la siguiente:

ESTACIONES	ECUACION DE PREDICCION	R2	σ
VERANO/OTOÑO	$\ln(ALAA) = 1.35 + 0.71 \ln X$	0.72	0.39

**FIG. 26 PREDICCIÓN DE LA CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL
DE RADON CON LOS DATOS DE VERANO**



**FIG. 27 PREDICCIÓN DE LA CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL
DE RADON CON LOS DATOS DE OTOÑO**

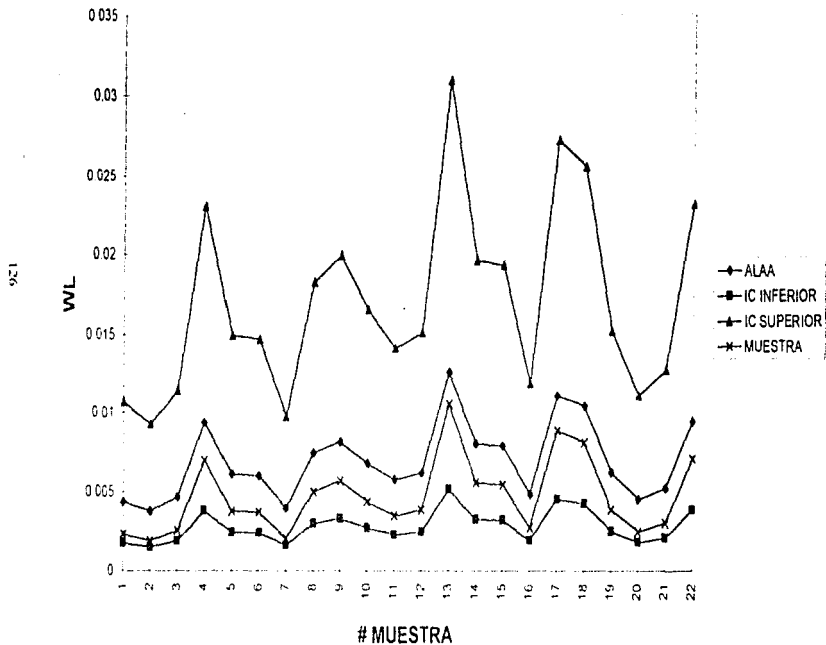
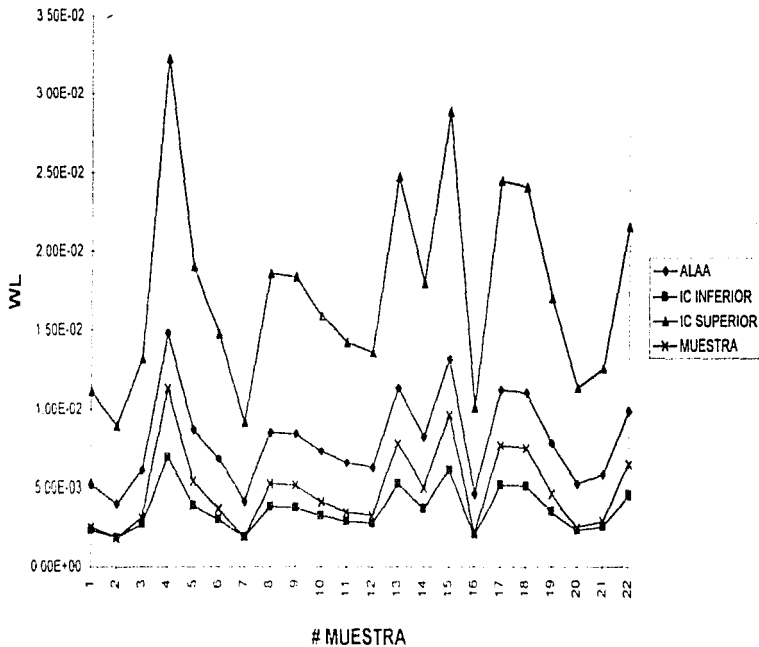


FIG. 28 PREDICCIÓN DE LA CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL DE RADON BASADA EN LA MEDIA DE DOS LECTURAS

421



CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en este trabajo se concluye lo siguiente .

El fondo gamma promedio para la delegación de Tlalpan evaluado por los TLD's, fué de 7 074 $\mu\text{R/h}$ en interiores presentándose la mayor exposición en la estación de otoño con 8 019 $\mu\text{R/h}$ y la menor en primavera con 6 45 $\mu\text{R/h}$ Por debajo de los niveles considerados normales para radiación gamma en el ambiente de 12-16 $\mu\text{R/h}$ El fondo gamma promedio en el exterior fué de 6 961 $\mu\text{R/h}$

La concentración promedio aritmética de Radón e hijos del Radón en interiores en las estaciones de verano y otoño para ambos equipos fue

ESTACION	CWLM	E-PERM
VERANO	0 00210 WL	3 46 pCi/L
OTOÑO	0 00191WL	2 013 pCi/L
INVIERNO	-----	4 68 pCi/L
PRIMAVERA	-----	2 22 pCi/L

Como se puede observar el promedio más alto por estación fue el de invierno ya que en esta temporada se presentan inversiones térmicas y es en promedio 45% más alto que primavera y otoño

La concentración promedio anual de Radón calculada a partir del monitoreo de los hijos del Radón realizados en las estaciones de verano, otoño y a partir de la media de ambas lecturas es la siguiente

MONITOREO EN	ALAA (pCi/L)
VERANO	2 428
OTOÑO	1 381
MEDIA DE AMBAS LECTURAS	1 592

Como se puede observar la concentración anual calculada ALAA que más se acerca al promedio anual es la calculada a partir de la ecuación de verano, pero probablemente la que se acercaría más sería la basada en un monitoreo en invierno donde se encuentran normalmente las concentraciones más altas

Se necesitaría un tamaño de muestra mucho más grande y un monitoreo en todas las estaciones para poder considerar el valor ALAA calculado a partir del CWLM ya que esto ayuda en gran parte a hacer una mejor predicción

La concentración promedio anual en interiores determinada con el E-PERM es de 3.1 pCi/L, por debajo de la concentración considerada normal por EPA de 4 pCi/L. Con una concentración máxima en invierno de 13.344 pCi/L, y mínima cercana a 0 pCi/L, de 0.278 pCi/L, en verano

En el exterior la concentración promedio anual fue de 7.54 pCi/L debido a que en la casa muestreada, falta levantar banquetas y no solo ahí sino en toda la zona muestreada lo que incrementa el nivel promedio de Radón comparado con otras delegaciones 1.47 pCi/L (exterior), en Alvaro Obregón

En cuanto a las variaciones diurnas la mayor concentración de Radón promedio anual se encuentra a altas horas de la noche y en la madrugada debido a que se mantienen cerradas puertas y ventanas reduciendo drásticamente esta concentración al iniciar los usuarios sus actividades y a cambios en la estabilidad atmosférica, los valores mínimos se presentan en la tarde y después comienzan a aumentar ya que el enfriamiento de la superficie lleva a un incremento en la estabilidad atmosférica, ocurriendo un aumento en la concentración de Radón. Las variaciones diurnas van de 1.5×10^{-4} WL a 2.25×10^{-2} WL

El control de calidad indica que el RMD para el equipo continuo es menor al 15% y para el E-PERM el COV de 35% en campo

Dado que el CWLM solo tomó lecturas por un día/casa y el E-PERM lecturas de estación/casa y hasta un año, estas últimas se consideran más confiables, incluso en la evaluación de la concentración promedio anual. Sin embargo la exactitud y precisión del CWLM es mayor como ya se mencionó

Las calibraciones del equipo están dentro de los límites establecidos y debido a esto los resultados se consideran confiables y congruentes.

El factor de equilibrio promedio medido en las estaciones de verano e invierno es de 0.41. Al mismo tiempo se determinó el peso de partículas sólidas totales. El factor de equilibrio F sigue la misma tendencia que las partículas sólidas totales, F aumenta con el aumento en la concentración de partículas. El factor de equilibrio en exterior fué de 0.25. El factor de equilibrio en interiores es menor al reportado en otros países y cercano al obtenido en Bangladesh (0.4) e India (0.39). Esta bien relacionado con la tasa de ventilación y la concentración de partículas sólidas totales.

En cuanto a los equipos utilizados son complementarios ya que el CWLM nos permite analizar el comportamiento del Radón e hijos en el transcurso del día, siendo una valiosa ayuda para poder observar los altibajos en la concentración de este gas. El EPERM nos permite cubrir tiempos mayores hasta un año dando la concentración promedio anual.

Es una ventaja tener acceso a esta nueva gama de dispositivos pasivos, capaces de determinar la concentración de Radón con una gran flexibilidad en el período de exposición (1 día hasta 1 año) en el caso del E-PERM.

El E-PERM es un dispositivo de medición pasivo el cual se puede dejar en el sitio, no necesita una fuente de energía, de tal manera que esto lo convierte en un dispositivo útil para estudios masivos además de ser más económico en comparación con el CWLM, este es más costoso en cuanto al equipo mismo, al mantenimiento y al personal necesario para su manejo.

BIBLIOGRAFIA.

1. Cabrera Luis, Navarrete Manuel. Introducción al Estudio de los Radioisotopos. Porcia editores 1993.
2. Cothorn C.R., Rebers Paul A., Radon, Radium and Uranium in drinking water. Lewis Publisher. U.S. 1994
3. Cuaderno Estadístico Delegacional de Tlalpan. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1996
4. Cup Todd, Conway Ranilee, Smith Kimberly, Milier Mark. A performance study of four Passive Environmental Radon detectors. Radioactivity & Radiochemistry 4(3) 50-59 1993
5. Dua S.K., Hopke P.K., and Kotrappa P. Electret method for continuous measurement of the concentration of radon water. Health Physics 68(1) 110-114 1995
6. Ennemoser O., Oberdorfer E., Brunner P., Schneider P., Purtscheller F., Stingl V., and Ambach W. Mitigation of indoor radon in an area with unusually high radon concentration. Health Physics 69(2) 227-232 1995
7. Environmental Health Criteria. Select Radionuclides. World Health Organization. Genova. 25 143-163 1983
8. E-PERM System Manual. Rad. Elec. Inc USA
9. Evans, James, Lindsay, William. Administración y Control de Calidad. Iberoamericana Mexico 1995
10. Fjeld R.A., Montague K.J., Haalapa M.H., and Kotrappa P. Field test of electret ion chambers for environmental monitoring. Health Physics 66(2) 147-154 1994.
11. García Resendiz J. José. Monitoreo de Radón en casas habitación. Tesis. Facultad de Química 1994.
12. George Andreas C. State of the art instruments for measuring radon/thoron and their progeny in dwelling: a review. Health Physics 70(4) 451-463 1996
13. Juárez Sánchez Faustino. Detección de radón en suelo, aire y agua mediante diferentes métodos y su aplicación en estudios geofísicos. Tesis. Facultad de Química. 1994

14. Kotrappa P, Dempsey J C, Hickey J R, Stieff L R. An Electret Passive Environmental ^{222}Rn Monitor based on ionization measurement. Health Physics. 54(1) : 45-56. 1988
15. Kotrappa P, Dempsey J C, Ramsey R W, Stieff L R. A practical E-PERMTM (Electret Passive Environmental Radon Monitor) system for indoor ^{222}Rn measurement. Health Physics 58(4) 461-467. 1990
16. Kotrappa P, Jester W A. Electret ion chamber Radon monitors measure dissolved ^{222}Rn in water. Health Physics 54(4) 397-405 1993
17. Martínez Velázquez Ulises Arturo. Determinación de Radón en casas habitación en la zona oriente de Coyoacán. Tesis Facultad de Química 1994
18. Najafi Fazil, Lalwani Lalit, and Li Win G. Radon entry control in new house construction. Health Physics 69(1) 67-74 1995
19. Nazarov William W, Nero Anthony V. Radon and its decay products in indoor air. John Wiley & sons, Inc. New York 1988
20. Parker Sybil, Corbit Robert. Encyclopedia of Environmental Science & Engineering. Mc Graw Hill. Editors in Chief 1993
21. Tago Suga Aurora Asako. Estudio Geografico de la Delegación de Tlalpan. Tesis 1961
22. Trejo Plascencia Juan Carlos. Monitoreo de Rn en la delegación Gustavo A Madero y revisión de algunos modelos simuladores de su comportamiento. Tesis Facultad de Química 1994
23. White S B, Alexander Barbara V, and Rodman Nathaniel F. Predicting the annual concentration of indoor ^{222}Rn from one or more short-term measurements. Health Physics. 66(1) 55-62 1994.
24. Wilkening M. Radon in the Environment. Elsevier. Amsterdam 1990