

140
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**"CORRELACION ENTRE LAS MEDICIONES
A CORTO Y LARGO PLAZO DE RADON
EN INTERIORES"**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
MARTIN ROQUE FERNANDEZ



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. : J. MANUEL NAVARRETE TEJERO

VOCAL

PROF. : JUAN LARTIGUE GORDILLO

SECRETARIO

PROF. : TRINIDAD MARTINEZ CASTILLO

1er. SUPLENTE

PROF. : GUILLERMINA BURILLO AMEZCUA

2do. SUPLENTE

PROF. : LUIS CABRERA MOSQUEDA

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA.

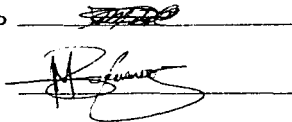
FACULTAD DE QUIMICA, EDIFICIO "D". SECCION QUIMICA NUCLEAR.

ASESOR DEL TEMA.

M. en C. TRINIDAD MARTINEZ CASTILLO

SUSTENTANTE.

MARTIN ROQUE FERNANDEZ



Handwritten signatures of the jury members, including the name 'TRINIDAD' and 'M. en C. TRINIDAD MARTINEZ CASTILLO'.

Primeramente quiero agradecer a Dios por permitirme estar aquí, en esta vida, por brindarme tantos regalos y apoyos como lo es mi familia, mi patria, la vida y mi universidad.

Quiero agradecer también a la Universidad Nacional Autónoma de México, que gracias a esta gran institución he logrado obtener una formación profesional y personal de inigualable valor.

A mi Facultad de Química, que me abrió sus puertas al fascinante mundo del conocimiento científico. Así como a los profesores que de una u otra forma compartieron conmigo sus conocimientos y experiencias.

Doy gracias infinitas a las siguientes personas ya que sin la ayuda de ellas no hubiera podido salir adelante y forjar mi propio camino para conseguir esta meta tan anhelada: Ser Ingeniero.

A mi Directora de tesis M.C. Trinidad Martínez Castillo, por su apoyo incondicional en todo el desarrollo de esta tesis, por la paciencia hacia conmigo, su amistad, y atinados consejos técnicos para conseguir los resultados del objetivo que nos planteamos, ya que sin esto no hubiera sido posible el desarrollo de esta tesis.

Gracias al apoyo de los profesores del Departamento de Química Nuclear : Manuel Navarrete tejero, Juan Lartigue Gordillo, Luis Cabrera Mosqueda y Guillermina Burillo Amezcua.

Gracias a mis padres: Marcos y Amable; por haberme dado la vida, por haber sacrificado la suya procurando que nunca nos faltara nada a mis hermanos y a mí, gracias por haberme tenido el amor, la libertad, la confianza, y la paciencia para lograr esta meta aunque solo sea una pequeña muestra de lo mucho que los amo.

Gracias a mis tíos: Leonel, Delia, Zoila, Omelino, Natalia, Carlos y Rey, por sus consejos que nunca olvidare.

Gracias al I.Q. Alejandro Ramirez Chavez por su asesoramiento desinteresado.

Gracias a mis Primos; Mario y Eduardo; por el apoyo total hacia mi.

Gracias a mis hermanos por sus cariños y cuidados hacia mi cuando más lo necesitaba, especialmente a ti Jesús que con todo tu apoyo lograste ante todo sacarme adelante, por eso te dedico este trabajo que es una pequeña muestra de agradecimiento hacia ti.

Gracias a mi esposa Leticia, por apoyarme, exigirme y ser la compañera que Dios ha puesto en mi camino, para impulsarnos y abrirnos paso ante la vida, de tal forma que podamos crear nuevos caminos de éxito y satisfacción mutua. Te dedico este trabajo como signo de admiración y respeto ante una persona profesional y perseverante de la cual he aprendido a hacer bien las cosas y que a dejado huella en mí.

Gracias a mi cuñado Carlos Alberto por sus valiosos aportes en la realización de este trabajo.

Gracias a mis suegros; por el apoyo y confianza depositada en mí.

Gracias a todos mis amigos; por ser parte especial de mi vida los quiero mucho.

Con mi mejor muestra de :

GRATITUD

A quienes sin esperar nada de mí
dieron de sí para que mi carrera
fuera más fácil y con esa ayuda
haya podido alcanzar la meta que me propuse.

MARTIN ROQUE FERNANDEZ.

**CORRELACION ENTRE LAS MEDICIONES A CORTO Y LARGO PLAZO
DE RADON EN INTERIORES**

INDICE

	Pág
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
PROYECCION	3
CAPITULO I.- GENERALIDADES SOBRE EL RADON	
I.1.- El Radón en la corteza terrestre	4
I.2.- Consideraciones particulares sobre el Radón	4
CAPITULO II.- DESCRIPCION DEL EQUIPO DE DETECCION	
II.1.- Monitor pasivo de ^{222}Rn ambiental	12
II.2.- Ventajas y desventajas del E-PERM	14
II.3.- Ventajas y desventajas de los electretos	15
II.4.- Características comerciales de los electretos	15
II.5.- Pasos relevantes anteriores al uso del dosimetro TLD	16
II.6.- Consideraciones respecto a la lectura de los E-PERM	17
II.6.1.- Variación paramétrica en electretos E-PERM	17
II.6.2.- Respuesta de los E-PERMs a la radiación γ	17
II.6.3.- Incertidumbres aleatorias en el sistema E-PERM	18
II.6.4.- Estabilidad de la señal de exposición	19
II.6.5.- Lector de electretos	20
II.6.6.- Electreto E-PERM (disco de teflón)	21

II.6.7.- Lector y electroto de referencia SPER-1	22
II.6.8.- E-PERM cámara "L"	23

CAPITULO III.- DELEGACION POLITICA DE TLAHUAC Y COYOACAN

III.1.- Características geográficas de Tláhuac	24
III.2.- Hidrografía y Orografía	26
III.3.- Estadigrafía	27
III.4.- Datos generales sobre las viviendas y sus moradores	27
III.5.- Características y tipos de vivienda	28
III.6.- Materiales de construcción y acabado	29
III.7.- Datos generales y hábitos de los moradores	29
III.8.- Características geográficas de Coyoacán	30
III.9.- Geología	30
III.10.- Orografía	31
III.11.- Clima	32
III.12.- Temperatura	33
III.13.- Lluvias	33
III.14.- Datos generales sobre las viviendas y sus moradores	35
III.15.- Características y tipos de vivienda	35
III.16.- Materiales de construcción y acabado	36
III.17.- Datos generales y hábitos de los moradores	36

CAPITULO IV.- PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA CONCENTRACION DE RADON EN EL INTERIOR DE CASAS HABITACION

IV.1.- Hábitos de ventilación	37
IV.2.- Presencia de humedad en el suelo a causa de precipitación pluvial	37
IV.3.- Migración de Radón desde las rocas y suelo debajo	

de las viviendas	38
IV.4.- Presencia de óxidos metálicos	39
IV.5.- Otros factores que contribuyen a la concentración de Radón en casas habitación	39
IV.6.- Contribución a la concentración de Radón por materiales de construcción	41

CAPITULO V.- CORRELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE RADON MEDIDAS DURANTE PERIODOS CORTOS Y LARGOS

V.1.- Predicción de las concentraciones anuales de Radón en el interior de casas habitación a partir de mediciones de periodos cortos de exposición	47
---	----

CAPITULO VI.- RESULTADOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

VI.1.- Radiación gamma	53
VI.2.- Concentración de Radón	66
VI.3.- Ejemplo numérico de la predicción de la concentración de Radón anual según las ecuaciones de White, partiendo de datos de un periodo de exposición corto	85
VI.4.- Control estadístico de los resultados	87

CONCLUSIONES	98
---------------------	----

BIBLIOGRAFIA	100
---------------------	-----

APENDICE A

APENDICE B

ANEXO

INTRODUCCION

De una forma u otra, los seres humanos estamos constantemente expuestos a radiaciones que provienen de diversas fuentes, tanto internas como externas. Estudios en diversas partes del globo muestran que las radiaciones externas provienen principalmente del decaimiento de los isótopos del Potasio y del Rubidio, así como de miembros de la cadena de decaimiento del Uranio, del Torio y del Actinio. Otra parte proviene de las radiaciones cósmicas que llegan a la superficie de la tierra.

Se ha comprobado que la dosis efectiva producida por inhalación en los seres humanos se debe en su mayor parte a la desintegración del Radón y del Torón, que contribuye con un porcentaje por encima del 55% de la dosis efectiva media de origen natural.

El peligro representado por el Radón fue identificado por primera vez hace aproximadamente cien años, cuando se detectó la alta incidencia de cáncer pulmonar en mineros. En busca de una respuesta, cuarenta y cinco años más tarde, tal fenómeno se atribuyó a la alta concentración de Radón en las minas, comprendida entre 10^3 y 5×10^4 Bq/m³. Tras treinta años de estudio, se estableció que la verdadera causa no era tanto el Radón mismo como la inhalación de su progenie de vida corta, a saber, ²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi y ²¹⁴Po.

Estos átomos radioactivos se adhieren a la superficie de los aerosoles existentes en el aire. Al inhalarse, los aerosoles

radioactivos se acumulan en los pulmones mediante filtración: como consecuencia, el pulmón es el órgano del cuerpo humano más afectado por tales radiaciones.

Es importante hacer notar que no sólo en las minas se tienen altas concentraciones de radiación. Estas pueden presentarse en algunos inmuebles debido, entre muchos otros factores, a la mala ventilación, a los tipos de construcción y de acabado. Al ser inhalado, el Radón presente en el interior del inmueble puede provocar cáncer de pulmón, ya sea tras un largo periodo de exposición, o en uno corto, si la concentración es alta. Podemos asumir, entonces, que la población en general corre un riesgo significativo de adquirir cáncer pulmonar debido a las radiaciones ya mencionadas.

Este estudio se avoca a medir las concentraciones de Radón en el interior de viviendas de una zona particular de la ciudad de México, a saber, las delegaciones de Tláhuac y Coyoacán, utilizando uno de los varios métodos desarrollados en dosimetría, el que emplea monitores pasivos E-PERM, para determinar si dichas concentraciones se encuentran dentro del rango aceptable para la salud humana, de acuerdo con los estándares tolerables de radiación reconocidos internacionalmente.

OBJETIVOS

-Obtener concentraciones anuales de Radón en el interior de casas habitación en las delegaciones políticas de Tláhuac y Coyoacán, y compararlas con concentraciones de periodo corto:

- relacionar los hábitos y costumbres de los moradores con la magnitud de la concentración anual promedio del área monitoreada;
- correlacionar las variaciones de las concentraciones de Radón en cada estación del año;
- determinar cuáles son los factores que influyen en la concentración de Radón en interiores en cada estación del año;
- presentar un modelo de la relación entre ambas concentraciones.

PROYECCION

En este trabajo se mide la concentración de Radón en el interior de treinta casas habitación de las delegaciones políticas de Tláhuac (15) y Coyoacán (15); ésta se determina empleando el método de monitoreo pasivo (E-PERM) en periodos largos (estaciones del año). Se busca un modelo que relacione la concentración en periodos cortos con la de periodos largos, con miras a un trabajo futuro que abarcaría toda la ciudad de México.

CAPITULO I. GENERALIDADES SOBRE EL RADON

I.1.-El Radón en la corteza terrestre

El Radón se encuentra en cualquier parte, aunque sea en minúsculas cantidades, ya que sus antecesores, el ^{226}Ra y el ^{238}U , se localizan en todo tipo de roca. Factores tales como la ventilación, la humedad, la porosidad, la permeabilidad de las rocas y del suelo, el tipo de materiales de construcción, modifican la concentración de Radón en cada lugar en particular.¹

I.2.-Consideraciones particulares sobre el Radón

El estudio del Radón es un microcosmos en el campo de la Química nuclear. Se lo estudia en el medio terrestre (agua, aire, tierra). El Radón es un gas incoloro, inodoro, radiactivo y emisor de partículas alfa. Es moderadamente soluble en agua y puede ser absorbido por rocas y arenas. Su solubilidad depende de la temperatura del agua que se emplee como disolvente: entre más baja sea su temperatura, mayor será su solubilidad. El coeficiente de solubilidad del Radón se define como la proporción

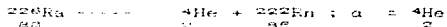
1 Algunos estudios de suelo realizados en Estados Unidos (Cfr. Khan, A.J.; Vershney, A.K. y Prasad, R. "The Indoor Concentration of Radon and Its Daughters in Multistory Buildings". En: Nucl. Tracks Radiat. Meas., vol. 13, no. 1, 1987.) han reportado concentraciones promedio en interiores de 1000 pCi/L, con máximas de hasta 18200 pCi/L.

Las altas concentraciones de Radón se deben a la presencia de glauconita (la glauconita es un mineral compuesto de hidrosilicato de hierro, potasio, aluminio, fosfato y otros minerales carbonáceos), la corteza terrestre está formada de basalto y de granito, que son rocas ígneas. Estas constituyen las fuentes principales de radiación al aire libre a las que puede estar expuesta la población. El granito es más radiactivo que las rocas sedimentarias; contiene una concentración de Uranio que varía aproximadamente de 2 a 6 ppm, y una concentración de Torio 3 a 5 veces mayor.

entre la concentración del Radón en el agua y su concentración en el aire. El Radón es liberado en agua caliente a cierta temperatura y, por lo tanto, su coeficiente de solubilidad es bajo. El valor de 0.5 es el coeficiente máximo de solubilidad del Radón a una temperatura del agua cercana a los 6°C, y decrece exponencialmente a medida que la temperatura del agua aumenta.

El ^{222}Rn tiene una vida media de 3.824 días y es el hijo inmediato del Radio (^{226}Ra) producido en la serie de decaimiento del Uranio (^{238}U). Cuando el núcleo del ^{226}Ra decae por la emisión de una partícula alfa,² su masa atómica queda con cuatro unidades menos, ya que pierde dos neutrones y dos protones; y su número atómico con dos unidades menos, pues pierde dos cargas positivas en el núcleo. Esto constituye la partícula alfa emitida.

En un gramo de Radio, cada segundo se transforman 3.7×10^7 átomos del mismo en átomos de ^{222}Rn (Radón).



Una partícula alfa es de corto alcance, debido a que por su tamaño y peso su ionización específica es muy grande; es decir, que entregan su energía en gran número de colisiones durante un corto trayecto. La desintegración por emisión de partículas alfa

² Una partícula alfa consiste en dos neutrones asociados con dos protones; estos pueden ser considerados como núcleos de átomos de Helio. Tienen una masa de 4 u.m.a. (unidad de masa atómica) y dos cargas positivas. Es importante considerar aquí que una unidad de masa atómica es equivalente a 1/12 de la masa del átomo de ^{12}C , o sea, igual a 1.66043×10^{-24} g. La masa del protón es igual a 1.007277 u.m.a. La masa del electrón es igual a 0.000549 u.m.a. La masa del neutrón es igual a 1.008665 u.m.a.

ocurre generalmente --hay excepciones-- entre elementos de número de masa mayor a 200.

Las partículas alfa pueden atravesar un cierto espesor de materia antes de perder toda su energía. La distancia o alcance de las partículas alfa con energía de 3 MeV. en el aire se calcula en 1.6 cm. Una hoja de aluminio con un espesor de alrededor de 0.015 mm es capaz de detenerla. La distancia recorrida puede ser determinada en un laboratorio verificando la absorción de las partículas en espesores conocidos de materia.

Una expresión matemática que muestra el alcance de las partículas alfa que viajan en el aire en función de su energía, entre 4 y 7 Mev., es la siguiente:

$$A=0.309 E^{3/2}$$

Donde

A es el alcance en cm.

E es la energía de la partícula alfa en MeV.

El Radón (^{222}Rn), que es un gas radioactivo, puede migrar bajo diferentes condiciones; la migración o flujo se desenvuelve fundamentalmente en función de su vida media, la permeabilidad del suelo y de factores geológicos, meteorológicos y estructurales. Su vida media es de 3.824 días, lo que no le permite transportarse por difusión a grandes distancias. Sin embargo, este valor es lo suficientemente grande para permitirle una emanación parcial desde los materiales de construcción y del suelo, así como el transporte convectivo y la migración hasta algunos metros de distancia.

El Radón presenta las siguientes propiedades:

Tc=104°C	Pc=62 atm.	Peb= -61.8°C
Pcong= -77°C	Densidad=10 aire	

Existen tres series radioactivas que dan lugar cada una a un isótopo gaseoso de Radón. Estos gases radioactivos son el ^{220}Rn , ^{222}Rn y el ^{219}Rn , todos los cuales se incorporan a la atmósfera. Las series están encabezadas por los ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U , y terminan respectivamente con los isótopos estables ^{208}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb .³

A continuación se muestra la tabla 1, en la que se señalan los isótopos primordiales (entre el potasio y el Bismuto) que están contenidos en la mezcla isotópica de los elementos.⁴

3 Véanse las figuras 2, 3 y 4. Dichas figuras se basan en las ofrecidas por Manuel Navarrete y Luis Cabrera en su libro Introducción al estudio de los radiactivos (México, UNAM/Facultad de Química, 1993), pp. 191-194.

4 Ibidem.

TABLA I

Radioisótopos	Vida media (años)	Abundancia isotópica %
⁴⁰ K	1.3×10^9	0.0118
⁶⁰ V	6.0×10^{15}	0.24
⁸⁷ Rb	4.7×10^{10}	27.85
¹¹⁰ Cd	9.0×10^{10}	12.30
¹¹⁶ In	6.0×10^{14}	95.72
¹²³ Te	1.24×10^{13}	0.87
¹³⁸ La	1.3×10^{11}	0.089
¹⁴⁴ Nd	2.1×10^{15}	23.65
¹⁴⁷ Sm	1.1×10^{11}	15.0
¹⁴⁹ Sm	7.0×10^{15}	11.20
¹⁶² Gd	1.1×10^{14}	0.20
¹⁶⁶ Dy	2.0×10^{14}	0.06
¹⁷⁶ Lu	3.0×10^{10}	2.60
¹⁷⁴ Hf	2.0×10^{15}	0.18
¹⁸⁷ Re	5.0×10^{10}	62.60
¹⁸⁶ Os	2.0×10^{15}	1.60
¹⁹⁰ Pt	6.0×10^{11}	0.0127
²⁰⁹ Bi	$>2.0 \times 10^{16}$	100.0

Se emplean diversos equipos en el estudio del Radón, los cuales no podemos tratar ampliamente a riesgo de desviar la atención de nuestro propósito particular. Sin embargo, en el siguiente capítulo se describe el equipo que se empleó en nuestra investigación.

PESO ATOMICO

URANIO I

Becquerel 1896

238

URANIO XI

Crookes 1900

234

230

226

222

218

214

210

206

URANIO UX2
Pajana 1913

URANIO U II

Geiger 1911

4.5E9 a
U
4.6

24.1 d
Th 0.19

1.2 m
Pa 2.3

2.5E5 a
U
4.77

1.7E4
Th
4.69

1600
Ra
4.78

3.82 d
Kt
5.49

3.05 m
Po
6.0

26.8 h
Pb 1.03

22.3 a
Pu 3.77

5.0 d
Rt 2.0

13.0 d
Po
5.3

7.7E4
Th
4.69

1600
Ra
4.78

3.82 d
Kt
5.49

3.05 m
Po
6.0

19.1 m
Rn 5.51

1.2E-4 a
Po
7.45

5.0 d
Rt 2.0

13.0 d
Po
5.3

RADIO C
Rutherford 1903

RADIO G
Hahn 1923

RADIO E
Ryer 1914

POLONIO
Curie 1898

RADIO D
Hoffman 1904

RADIO G
Rutherford 1905
Plomo

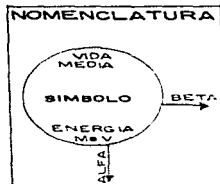


fig.1 SERIE DE DECAIMIENTO DEL URANIO
 $4n + 2$
 $n = 51 a 59$

PESO ATOMICO

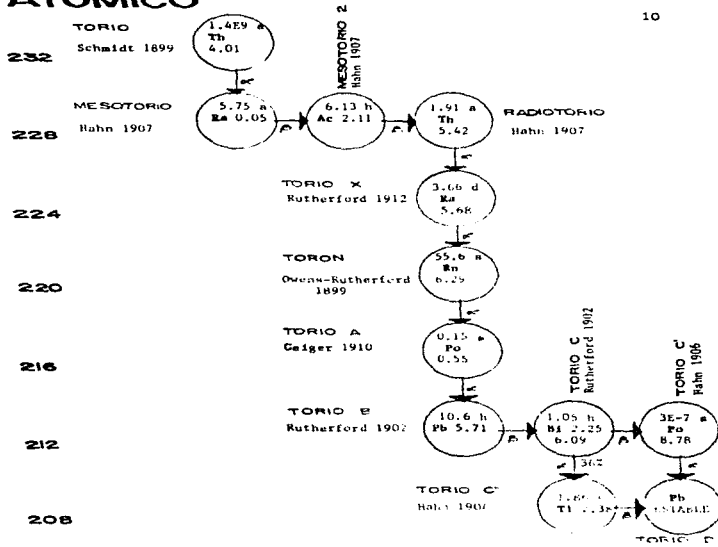


fig. 2 SERIE DE DECAIMIENTO DEL TORIO
 $4n+0$
 $n=52 \text{ a } 58$

PESO ATOMICO

11

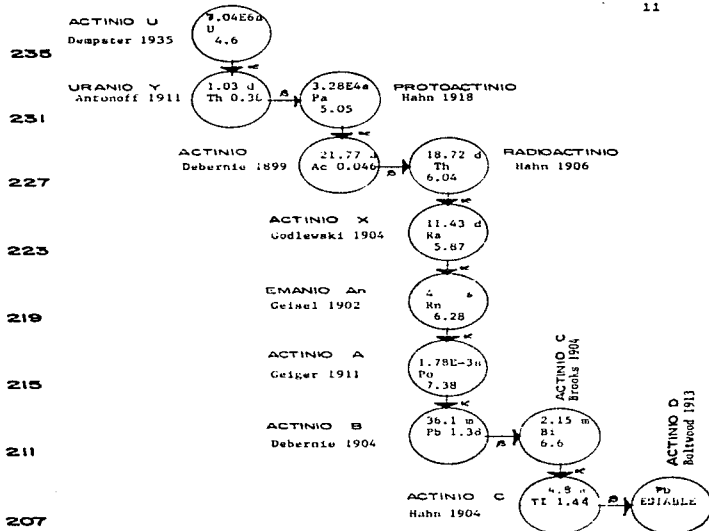


fig. 3 SERIE DE DECAIMIENTO DEL ACTINIO
 $4n + 3$
 $n = 51 \text{ a } 58$

CAPITULO II. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE DETECCION.

II.1.-MONITOR PASIVO DE ^{222}Rn AMBIENTAL CON ELECTRETO BASADO EN LA MEDICION DE IONIZACION⁵

El monitor pasivo de ^{222}Rn ambiental con electreto (E-PERM) es una extensión de los dosímetros de electreto usados para la medición de radiación α y β . Un E-PERM consiste en una pequeña cámara que aloja un electreto en el fondo y tiene una entrada provista de un filtro en la parte superior. El gas ^{222}Rn que penetra a través del filtro y los productos de desintegración formados dentro de la cámara, generan iones que son recolectados por el electreto. Finalmente, la reducción de carga en el electreto es una medida integrada en el tiempo de la exposición al ^{222}Rn .

Un electreto es una pieza de material dieléctrico que exhibe una carga eléctrica casi permanente. La carga del electreto produce un fuerte campo electrostático capaz de recolectar iones de signo opuesto. Hasta muy recientemente, los electretos habían sido considerados objetos curiosos análogos a los imanes, que merecían sólo interés académico. Sin embargo, con el desarrollo de los polímeros de fluorocarbono altamente dieléctricos como el teflón, los electretos se han convertido en componentes electrónicos confiables capaces de mantener campos electrostáticos constantes incluso bajo altas temperaturas y condiciones de humedad.

5 A menos que se indique lo contrario, para la información contenida en este capítulo, C. E. Kotrappa, et al., "A Practical E-PERM™ (Electret Passive Environmental Radon Monitor) System for Indoor ^{222}Rn Measurement". En: Health Physics, vol. 58, no. 4, abril 1990.

En comparación con otros métodos de dosimetría, el E-PERM ofrece varias ventajas: es un instrumento barato y de fácil manejo; da lecturas aceptables con un rango de error de un 10 a 12%, que en lecturas de campo es plausible.

Una cámara E-PERM de 220 mL. de volumen con un electreto de $0.23 \mu\text{m}$ de espesor sufre una disminución de potencial de superficie de 2.5 voltios por cada $37 \text{ Bqm}^{-3} \text{d}^{-1}$ ($1 \text{ pCiL}^{-1} \text{d}^{-1}$). El voltaje del electreto se mide con un voltímetro de potencial de superficie diseñado especialmente para este método. Su sensibilidad se considera adecuada para mediciones de una semana de ^{222}Rn en viviendas. Para mediciones de más largo periodo, se diseñó otro modelo, un E-PERM de 40 mL. de volumen con un electreto de $51 \mu\text{m}$ de espesor, que ofrece una disminución de potencial de superficie de 2.5 voltios por cada 37 Bqm^{-3} (1 pCiL^{-1}).⁶

En resumen, el sistema E-PERM consiste de tres componentes: un disco de teflón cargado electrostáticamente llamado electreto, el cual colecta iones; una cámara iónica hecha de plástico conductor dentro del cual puede ser cargado el electreto; un lector, para leer la superficie, o voltaje, del electreto. Gracias a estos tres componentes es posible medir la concentración de Radón ambiental.

⁶ Otras combinaciones de volumen de la cámara y de espesores del electreto dan respuestas entre esos dos valores. El potencial de superficie de los electretos hechos de teflón permanece estable incluso bajo condiciones extremas de humedad relativa. El proceso de recolección de iones en los E-PERM mostró también ser independiente de la humedad hasta un potencial del electreto de 100 voltios. *Cfr. Ibidem.*

11.2.- Ventajas y desventajas del E-PERM

El E-PERM presenta diversas ventajas. En primer lugar, el desempeño del E-PERM es independiente de la humedad relativa en el rango encontrado en el medio ambiente. La lectura de su potencial de superficie es rápida y sencilla, amén de no ser destructiva, y puede repetirse sin afectar la señal del electreto (El instrumento para efectuarla es relativamente barato: cerca de 300 dólares).

Es posible ajustar los parámetros de diseño de los electretos y de los E-PERMs para cubrir una amplia variedad de requisitos de sensibilidad y rango, así como para adaptarlos a distintas aplicaciones.

Los E-PERMs son dispositivos pasivos que no requieren de partes móviles, lo que los hace fáciles de transportar e instalar. Por último, los E-PERMs son altamente competitivos en cuanto a sus costo y confiabilidad en comparación con otros monitores pasivos. En resumen, son muy prácticos para mediciones a gran escala en casas habitación.

Sin embargo, sus desventajas son significativas. Por ejemplo, un solo E-PERM no es capaz de cubrir sin sacrificar sensibilidad y en un mismo periodo de exposición, del más alto al más bajo rango de concentración de ^{222}Rn que se presentan en el interior de las viviendas.

Los E-PERMs son demasiado sensibles a la radiación ambiental en un periodo de exposición corto, lo que puede provocar una lectura errónea. Por ejemplo, en un periodo de exposición corto,

0.1 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ (10 $\mu\text{rad h}^{-1}$) añade una contribución extra a la señal equivalente a casi 1 $\mu\text{Ci/L}^{-1}$ de ^{222}Rn en un día. Tal corrección debe realizarse en las mediciones de periodo corto de concentraciones de ^{222}Rn .

II.3.-Ventajas y desventajas de los electretos

Los electretos ofrecen algunas ventajas en la lectura de radiación γ . Pueden usarse repetidamente en tanto el potencial de superficie se encuentre dentro del rango de voltaje útil (100 a 800 voltios). Y en el caso de caer por debajo de este rango, pueden ser recargados y vueltos a usar.

La metodología para la preparación de electretos antes de la lectura es bien conocida, además de ser adaptable a la producción en masa.

El cambio en los voltajes del electreto es esencialmente una función lineal de la exposición al ^{222}Rn , de modo que puede usarse un solo factor de calibración para calcular la concentración de ^{222}Rn .

Su única desventaja es que deben manejarse y almacenarse con precauciones especiales, aunque simples; así, por ejemplo, tocar los electretos significa alterar su voltaje.

II.4.-Características comerciales de los electretos

La empresa que produce el E-PERM, Rad Elec, manufactura asimismo una serie de electretos de diferentes características, los cuales se identifican en el mercado por etiquetas de colores y un código

de barras colocado al dorso. Los electretos de período corto, identificados por una etiqueta verde o azul, tienen un disco blanco y poseen alta sensibilidad; los electretos de largo período, identificados con etiquetas rojas, son menos sensibles y tienen un disco blanco o plateado.

En las mediciones de radiación γ , empleamos un dosímetro termoluminiscente (TLD), que corresponde a los últimos. El TLD consta de unas pastillas de sulfato de calcio activado con diprosio, $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Dy}$, PTFE. Estas pastillas se leen posteriormente en un aparato especial.

El TLD es un dosímetro de bajo precio, fácil de transportar y de manejar, confiable y disponible regularmente (en nuestro caso, los dosímetros empleados los proporcionó el ININ).

II.5.-Pasos relevantes anteriores al uso del Dosímetro TLD.

Antes de colocar el dosímetro TLD, es indispensable que se elimine la energía de sus pastillas mediante la exposición a altas temperaturas, y que se dejen enfriar a temperatura ambiente, para poder colocarlas de nueva cuenta en el portadosímetro. Una vez hecho esto, se cierra el dispositivo. Estos pasos deben aplicarse inclusive en pastillas nuevas, pues éstas pudieron haberse cargado durante su tiempo de almacenaje.

II.6.-Consideraciones respecto a la lectura de los E-PERMs

II.6.1.-Variación paramétrica en electretos E-PERM. El potencial de superficie del lado no metálico del electreto se calcula de manera aproximada en relación con la carga total del electreto mediante la siguiente ecuación:

$$QA = (E_0AEV / T)$$

donde Q = densidad de carga ($C \text{ cm}^{-2}$) en el electreto; A = área del electreto (cm^2); E_0 = permeabilidad de espacio (8.854×10^{-14}); V = potencial de la superficie; E = constante dieléctrica del teflón (aproximadamente 2), y T = espesor del electreto (cm).

El espesor del electreto y el volumen de la cámara son los parámetros principales que deben manipularse para optimizar la sensibilidad y el rango de los E-PERMs de acuerdo a sus aplicaciones concretas. Con base en la ecuación, la misma cantidad de carga dará por resultado diferentes potenciales de superficie dependiendo de si el electreto es grueso o delgado. Veamos un ejemplo. Un electreto de 0.2 cm. de diámetro presentará cerca de diez veces el potencial de superficie que un electreto de 0.02 cm de espesor, teniendo ambos la misma carga total. De aquí se desprende que los E-PERMs provistos de electretos gruesos poseen mayor sensibilidad y menor rango que los E-PERMs con electretos delgados.

La sensibilidad de un E-PERM depende igualmente del volumen de la cámara. A un mayor volumen, una mayor sensibilidad.

II.6.2.-Respuesta de los E-PERMs a la radiación gamma.

Diversos factores determinan la respuesta de los E-PERMs a la

radiación gamma; por ejemplo, las cámaras de mayor volumen ofrecen una mejor respuesta comparadas con aquellas de pequeño volumen. En las primeras, una mayor parte de la radiación γ se disipa en el aire que en las paredes internas de la cámara, porque pueden cruzar su rango completo antes de chocar con éstas.

La respuesta del E-PERM a la radiación γ , por otra parte, no se ve afectada por las dimensiones de la cámara, mientras tenga lugar la saturación en la recolección de iones. Sin embargo, se sabe que el material de construcción de la cámara de iones presenta algún defecto en su respuesta. Las cámaras fabricadas con material de alto número atómico, como el acero, ofrecen más alta sensibilidad en comparación con materiales de más bajo número atómico, tales como aluminio y plástico. Como resultado de la combinación de estos efectos, los pequeños E-PERMs de acero ofrecen una mayor sensibilidad relativa a la radiación γ , comparados con E-PERMs más grandes y de material distinto. No obstante, es preferible usar cámaras de mayor volumen hechas de materiales de bajo número atómico con el objeto de minimizar la sensibilidad relativa a la radiación γ , y no saturar así el electreto.

11.6.3.-Incertidumbres aleatorias en el sistema E-PERM.

A continuación se describen las posibles fuentes de incertidumbre en las medidas de la concentración de ^{222}Rn mediante el sistema E-PERM.

Como ya vimos, la sensibilidad del electreto depende, en parte, de su espesor. El catálogo del fabricante, *Rad Elec.*

registra la variación posible del espesor del disco como $\pm 7\%$. Es posible reducir esta incertidumbre midiendo los discos y rechazando aquellos que estén por encima de ciertos límites.

La sensibilidad del electreto también depende linealmente del área expuesta a los iones. El área del agujero de la cámara del electreto se fabrica con un torno de precisión cuya exactitud se ha calculado en ± 0.015 cm. Sin embargo, el corte deja rebabas que deben ser removidas. La incertidumbre lineal puede considerarse de ± 0.030 , lo que da por resultado una incertidumbre aproximada relativa al área del agujero de $\pm 2\%$.

La sensibilidad del E-PERM depende linealmente del volumen de la cámara. Deben escogerse cámaras provenientes de fabricantes que se conoce las producen en gran número y con buen control de calidad. Dichos fabricantes deben asegurar que la incertidumbre relativa al área del agujero de la cámara sea efectivamente del 2% , para que el volumen de ésta no se vea alterado.

La incertidumbre en la calibración de la cámara puede ser de casi $\pm 5\%$. La incertidumbre estadística en la reproductibilidad de los datos es insignificante en los E-PERMs, debido al gran número de emisiones a que los electretos integran en el periodo de exposición normal.

11.6.4.-Estabilidad de la señal de exposición. Los E-PERMs son capaces de retener lecturas por periodos de tiempo largos, y además, no son afectados por la humedad.⁷

⁷ Bauser y Range demostraron que la información de la dosis almacenada en sus electretos se retuvo sin pérdida por más de un año y aun expuestas a altos porcentajes de humedad relativa. Cfr. Kotrappa Et al., "An

II.6.5.-El lector de electretos. Este instrumento se conoce con el nombre de SPER-1. Es un instrumento electrónico usado para medir el potencial de superficie o voltaje de un electreto. El cambio de voltaje en la superficie de un electreto durante un periodo conocido de exposición, nos proporciona una correlación indispensable en el cálculo de la concentración integrada de Radon en un cierto periodo de tiempo. Esto se logra mediante el programa de cómputo llamado E-PERM.⁸

A continuación, se muestran los esquemas del monitor pasivo E-PERM, el electreto y el SPER-1.

Electret Passive Environmental ²²²Rn Monitor Based on Ionization Measurement", en: Health Physics, vol. 54, no. 1, enero de 1988; Amid Bauser H. y Range W., "The Electret Ionization Chamber: A Dosimeter for Long-Term Personnel Monitoring". En: Health Physics, vol. 34, no. 37, 1978.

⁸ La UNAM nos proporcionó acceso a este programa a través del Departamento de Química Nuclear de la Facultad de Química.

II.6.6.-ELECTRETOS E-PERM

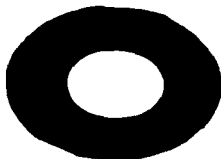


FIG. 4

Un electroreto E-PERM es un disco de teflón cargado eléctricamente que ha sido tratado para mantener un potencial electrostático estable. Este potencial atrae iones con carga opuesta que se recolectan sobre la superficie del electroreto, lo que mantiene constante la carga de superficie y reduce el potencial electrostático. El potencial de superficie se mide antes y después de la exposición usando un lector de voltaje especialmente diseñado para este fin.

La disminución que se observa en el potencial de superficie se relaciona directamente con la concentración de Radón integrada sobre el tiempo a través de una ecuación.

Especificaciones del electroreto de baja sensibilidad ("LT", largo periodo):

-Potencial de superficie: 700 a 760 voltios cuando es nuevo.

-Máx bajo voltaje de uso: 200 voltios.

Estabilidad del "LT":

-Menos de 1.0 volt por mes; el desempeño del electroreto no es afectado por la humedad relativa alta de hasta 100%, o por variaciones de temperatura normal entre 20 °F a 120 °F.

Advertencia:

La superficie del electroreto es sensible y no debe tocarse o entrar en contacto con cualquier otro objeto. De hacerlo, se neutralizará y distorsionará la lectura. Los electroretos que han sido tocados no deben usarse para mediciones hasta que se cheque su estabilidad. Cada electroreto se guarda y se envía con una cubierta protectora que lo aísla y lo mantiene estable. La cubierta se remueve para que el electroreto pueda cargarse dentro de la cámara. La vida de los electroretos almacenados con la cubierta protectora es indefinidamente larga.

Fuente: Manual del fabricante, Rad Elec Inc., Maryland, E.U.

II.6.7.-LECTOR Y ELECTRETRO DE REFERENCIA SPER-1

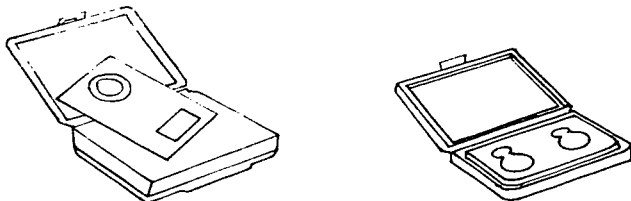


FIG. 5

El sper-1 (lector de potencial de superficie de electreto) mide el potencial de voltaje electrostático en la superficie de los discos del electreto usados en el sistema E-PERM.

El lector sper-1 opera al colocar una cara del electreto sobre la ventana circular provista de un obturador. Al activar el mecanismo del obturador, el lector detectará e indicará el voltaje en su pantalla digital. El sper-1 es compacto, resistente y confiable.

El detector de medición de voltaje real tiene placa de oro, lo que proporciona mediciones de voltaje precisas y estables. Todos sus componentes electrónicos están diseñados para una larga duración y los circuitos proporcionan la más avanzada simplicidad de operación. Opera con baterías; usa un estándar de 9 voltios, con la que realiza cientos de mediciones.

Especificaciones: Rango de medición de -1999 a +1999 voltios.

Precisión: 1 voltio

Pantalla: Cristal líquido de 3 dígitos, caracteres de 0.5 pulgadas; electrodo de mediciones de voltaje, electrodo con placa de oro aplicada a un sustrato dieléctrico alto, y mecanismo de aluminio de entrada/obturador maquinado para precisión.

Modo de operación: El obturador del electrodo inicialmente se abre y dispara para encender el lector. Con el electreto en la ventana, el obturador se abre otra vez y dispara para registrar la lectura durante dos minutos y se apaga automáticamente a menos que se tome otra lectura.

Electretos de referencia: Para asegurar el desempeño de su lector sper-1, se suministran dos electretos superestables y de largo periodo para chequeos de medición. Es importante mantener registros que demuestren el desempeño del lector para propósitos de comprobación de calidad. Cada par de electretos de referencia dispone de instrucciones y de un estuche.

Fuente: Manual del fabricante, Rad Elec Inc., Maryland, E.U.

II.6.8.-E-PERM DE CAMARA "L"

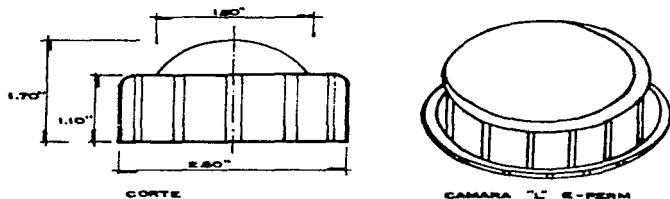


FIG. 6

La cámara "L" es una cámara de iones de volumen pequeño desarrollada para proporcionar mediciones de Radón de largo período a un bajo costo. Su inclusión en el E-PERM ha dado por resultado la posibilidad de realizar mediciones múltiples de un año a un precio bajo en comparación con otros aparatos de medición de Radón usados para mediciones de largo período o complementarias.

La cámara "L" es una cámara volumétrica de 50 ml con tapa en forma de domo; es más pequeña que la cámara "S" y no incorpora el sistema encendido/apagado; por lo tanto, los electrones empiezan a medirse desde la instalación del aparato. Los electretos "ST" y "LT" pueden usarse con la cámara "L" para rangos de medición de período corto o largo.

Especificaciones:

-Material: Polipropileno conductor con un electreto "LT".
 -Rango de integración: 12.500 pCi/L-días (configuración "LIT"); la caída de voltaje para una exposición de 365 días a 20 pCi/L es 310 volts.

Dimensiones: 2.8 pulgadas de diámetro, 1.7 pulgadas de altura.

Características: Pequeño y fácil de colocar en áreas distantes durante mediciones de largo período; bajo costo; fácil de enviar por correo. Los electretos se venden por separado.

Fuente: Manual del fabricante, Rad Elec Inc., Maryland, E.U.

CAPITULO III. DELEGACION POLITICA DE TLAHUAC Y COYOACAN

III.1.- CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE TLAHUAC

La delegación de Tláhuac se encuentra al sureste del Distrito Federal; tiene un área de 92 km² y representa el 6.74% de su área total. Se localiza en las coordenadas norte 19°20'; al sur, 19°12' de latitud norte; al este, 98°56', y al oeste, 99°04' de longitud oeste. Colinda al norte con la delegación política de Iztapalapa; al este con los municipios de Ixtapaluca y Chalco en el estado de México; al sur, con la delegación política de Milpa Alta, y al oeste, con las delegaciones de Xochimilco e Iztapalapa⁹ (Consúltese Anexo plano 1). Tláhuac está constituida por 2044 manzanas distribuidas en 76 áreas geoestadísticas básicas, de las cuales 72 son urbanas y 4 rurales.

La delegación de Tláhuac cuenta con una población estimada de 220 000 habitantes, lo que representa una densidad de población promedio de 120 habitantes por hectárea de terreno. La zona habitacional cubre un 15.74% del área total, mientras la zona ecológica cubre un 79.04%. El área restante (5.22%) se compone de las zonas de equipamiento (áreas empleadas por la administración para alojar instalaciones de servicios públicos) y mixta.

⁹ Cfr. para la información general sobre Tláhuac, Cuaderno Estadístico Delegacional, Tláhuac, D.F. México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1995. Para la ubicación de esta delegación, véase el plano 1.

En Tláhuac predomina un clima subhúmedo con grado bajo de humedad "C(Wo)W" (Véase el anexo plano 2). Su temperatura media anual es de 16°C, con una precipitación pluvial de 600 a 800 mm anuales. La temperatura máxima promedio se presenta en los meses de marzo y abril, y es de 27°C; la temperatura mínima promedio, 3°C, se presenta en los meses de diciembre y enero. Los meses de menor precipitación pluvial promedio son enero y febrero, con 100 mm; mientras la mayor precipitación promedio, 800 mm, se presenta en los meses de julio y agosto. Ocurren heladas ocasionales en la mayor parte de la delegación durante el invierno¹⁰ (Consúltese el anexo plano 2 y 3).

Las principales localidades de Tláhuac son: San Andrés Mixquic, San Nicolás Tetelco, San Juan Ixtayopan, San Pedro Tláhuac, San Francisco Tlaltenco, Santa Catarina Yecahuizotl, Santiago Zapotitlán, colonia la Nopalera, colonia Miguel Hidalgo, colonia los Olivos, colonia Agrícola Metropolitana y la colonia del Mar. En este trabajo experimental, hemos dividido la delegación política de Tláhuac en dos zonas, de acuerdo a sus características geográficas.

Zona norte: Abarca las localidades de San Pedro Tláhuac, Tlaltenco, Santa Catarina, Santiago Zapotitlán, Los Olivos, La Nopalera, Agrícola Metropolitana, Miguel Hidalgo y colonia del Mar. Esta zona abarca un 75% de la superficie de

¹⁰ En el cuaderno sobre la delegación política de Tláhuac editado por el INEGI (Op. Cit.) no existen tablas que registren los promedios anuales de temperatura y precipitación pluvial. No así en el cuaderno sobre la delegación de Coyoacán (Vid. *Infra*, apartado sobre Coyoacán).

la delegación y presenta un clima templado con grado de humedad "C(Wo)W", un promedio de 600 a 700 mm de precipitación pluvial anual, una temperatura anual de 16°C, y una altura aproximada con respecto al nivel del mar de 2290 m.¹¹

Zona sur: La constituyen las localidades de San Juan Ixtayopan, Tetelco y Mixquic. Se estima que esta zona representa un 25% de la superficie total de la delegación. Presenta un clima templado subhúmedo con moderado grado de humedad "C(W1)W", un promedio de 700 a 800 mm de precipitación pluvial anual, y una temperatura media anual de 14 a 16°C. Se encuentra a una altura de 2235 m sobre el nivel del mar¹² (Consúltese anexo plano 2 y 3).

III.2.- Hidrografía y orografía. La hidrografía de esta delegación la constituyen únicamente los ríos Atecuyac, Guadalupano, de Chalco y el de Amecameca, que están canalizados en forma subterránea. El poblado de Tláhuac cuenta con un pequeño lago. Los pueblos de Mixquic, Ixtayopan, Tlaltenco y Zapotitlán, cuentan aún con canales que intercomunican sus chinampas y se pueden observar en el anexo plano 4.

Con respecto a la orografía, en la parte norte de la

11 Ibidem.

12 Ibidem.

delegación se encuentra la sierra de Santa Catarina, que está formada por pequeños volcanes inactivos: el de mayor altura es el volcán de Guadalupe, con 2750 m sobre el nivel del mar; este volcán también es inactivo (Consúltese el anexo plano 5).

III.3.- *Kstatigrafía.* El Distrito Federal se ha dividido en tres zonas con diferentes tipos de suelo. La delegación de Tláhuac abarca los tres.¹³ La ubicación de las casas monitoreadas las inserta en sólo dos de ellas; a saber, la zona de transición y la zona de lagos, pues en la zona de cerros no se colocó dosímetro alguno, ni tampoco se monitoreó el Radón.

Las viviendas monitoreadas ubicadas en Tlaltenco, Zapotitlán, Ixtayopan y Santa Catarina, quedan ubicadas dentro de la zona de transición; mientras aquellas localizadas en San Pedro Tláhuac, Mixquic, La Nopalera, Miguel Hidalgo, Los Olivos, del Mar, Agrícola Metropolitana, Selene y Ampliación Selene, en la zona de lagos (Consúltese anexo plano 6 y 7).

III.4.- Datos generales sobre las viviendas y sus moradores.

Gracias a una encuesta realizada por el Ingeniero Químico Alejandro Ramírez Chávez en las mismas viviendas de la delegación Tláhuac monitoreadas para este estudio, aunque en un periodo

13 Estos tres tipos de suelo se designan: zona de transición, zona de lagos y zona de cerro. La primera corresponde a suelos con materiales arcillosos de poco espesor, intercalados con materiales sedimentarios más resistentes (depósitos aluviales); la segunda corresponde a suelos compuestos por arcillas blandas de alta compresibilidad, en lo que antiguamente fue área lacustre; la última se refiere a suelos compuestos principalmente de rocas volcánicas.

distinto. se obtuvo la siguiente información sobre número de habitantes por casa, incidencia de fumadores, materiales de construcción y de los acabados, hábitos de ventilación y combustibles empleados al cocinar.¹⁴

III.5.- Características y tipo de vivienda. El 96% de las 15 casas monitoreadas son unifamiliares, mientras el restante 4% se encuentra en condominio, ya sea en el primer o segundo nivel. El 48% de las casas unifamiliares cuenta con dos plantas --planta baja o primer nivel, y primer piso o segundo nivel-- y el 52% con un solo nivel.

Las 15 casas cuentan con ventanas individuales. En el 64% de las viviendas, las ventanas se mantienen abiertas las 24 horas del día; en el 32% se mantienen abiertas entre 8 y 16 horas al día (por lo que las clasificamos como semiabiertas), y sólo en el 4% se mantienen cerradas las 24 horas del día.

En cuanto a la ventilación de las viviendas, el 100% tiene ventilación natural, mientras un 40% cuenta también con ventilación artificial. Respecto a la calefacción, el 4% tiene chimenea y ninguno estufa.

Las viviendas fueron construidas en diferentes épocas. Un 4% se construyó en el siglo pasado; otro 4%, entre 1900 y 1950; el 16%, entre 1950 y 1969; 40%, entre los años de 1970 y 1979, y el 36% se empezó a construir entre 1980 y 1993, sin estar totalmente

¹⁴ Cfr. Ramírez Chávez, Alejandro. Niveles de Radón y Radiación Ambiental en Interiores en la Zona Habitacional de la Delegación Tláhuac, México, Tesis, Facultad de Química/UNAM, 1994.

terminado.

III.6.- Materiales de construcción y acabado. Los materiales que se emplearon en la obra negra varían: un 96% utilizó para la cimentación cemento, varilla de acero y roca volcánica; un 4% utilizó exclusivamente roca volcánica y adobe.

En lo que hace al material empleado en el recubrimiento de las paredes, el 80% utilizó yeso (dentro de este grupo, el 20% lo cubrió, además, con papel tapiz), mientras el 24% utilizó parcial o totalmente madera.

En cuanto al piso, 96% empleó cemento, grava y arena; 4% tiene piso de roca volcánica sobrepuesta (este es el caso de casas construidas en el siglo pasado). En lo que respecta a su recubrimiento, 36% tiene loseta; 16% tiene mosaico; 8% tiene azulejo; 4% tiene madera, y el 36% restante lo mantiene al desnudo.

III.7.- Datos generales y hábitos de los moradores. En las casas seleccionadas habitan 117 personas, de las cuales 85 son adultas y 32 son menores de 16 años; de estas 15 casas, el 28% cuenta con al menos una persona fumadora; de las personas adultas, el 30% cocina por lo menos una vez al día; y dentro de su cocina, el 92% genera en realidad poco humo y el 8% no lo genera mientras cocina; el 100% utiliza aceite vegetal y un 36% de éste, además, emplea aceite animal.

III.8.- CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS DE COYOACAN

La delegación política de Coyoacán se encuentra situada al sur de la ciudad de México. Se localiza en las coordenadas norte $19^{\circ}22'$, al sur $19^{\circ}18'$ de latitud norte, al este $99^{\circ}06'$, y al oeste $99^{\circ}12'$ de longitud oeste. La delegación de Coyoacán, con una superficie de terreno igual a 62.26 km^2 , representa el 3.50% del área total del Distrito Federal. Es una delegación pequeña con una altura promedio sobre el nivel del mar de 2241 m.¹⁵

La delegación de Coyoacán colinda al norte con las delegaciones políticas de Benito Juárez e Iztapalapa; al este, con Iztapalapa y Xochimilco; al sur, con la delegación de Tlalpan, y al oeste, con las delegaciones Magdalena Contreras y Alvaro Obregón (Ver anexo plano B).

III.9.- Geología. La delegación de Coyoacán se asienta en rocas de origen sedimentario en sus partes bajas; en las más altas, en rocas de origen volcánico. Cabe hacer notar que, en general, su relieve es irregular en toda la región. Los principales componentes del suelo coyocanense son: arcillas, margas, arcillas margosas y margas arcillosas intercaladas de diferentes maneras. Entre las capas anteriores se hallan también tobas detríticas arcillosas y arenosas, aluviones constituidos de matatenas de andesita, de hiperestena, y capas de arena de grano fino o

¹⁵ Cfr. para los datos generales de Coyoacán, Cuaderno Estadístico Delegacional, Coyoacán, D.F., México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1995.

grueso. El espesor de los anteriores sedimentos es mayor en el centro y su posición es casi horizontal.

III.10.- Orografía. La zona llamada actualmente cuenca de México fue antes del vulcanismo del mioceno y el plioceno, una cuenca de escurrimiento hacia la cuenca del río Amacuzac, pero con la efusión de lavas al sur de la cuenca, se obstruyó la salida de las aguas y se transformó en una cuenca cerrada, como lo fue hasta hace algunos años, antes de que se realizaran las obras de desagüe.

La andesita de Coyoacán es una de sus rocas más antiguas, pues data del mioceno. El afloramiento de andesita en esta zona está rodeado por la corriente basáltica reciente del Xitle, ya que por su relativa altura quedó a salvo de esta corriente.

La roca más abundante en Coyoacán es el basalto producto de la erupción del Xitle hace unos 2400 años.¹⁶ El espesor de la lava cerca del centro de Coyoacán varía de 5 a 10 metros. Las lavas de esta región son de color negro-grisáceo o grises compactadas; su magma vítreo contiene un gran porcentaje de hierro.

Al suroeste de la delegación Coyoacán se localizan rocas basálticas, en una zona que abarca Peña Pobre, Cuicuilco, Ciudad Universitaria, Copilco y las inmediaciones de Coyoacán, más o

16 Según determinaciones hechas por el método de Libby con base en el contenido de carbono 14 en muestras de carbón vegetal sepultado por la lava, realizadas en muestras obtenidas en Copilco y Cuicuilco. (Cfr. Ulises A. Martínez Velázquez. Determinación de Radón en casas habitación en la zona oriente de Coyoacán. Tesis, Facultad de Química/UNAM, 1994.

menos a la altura de la avenida Taxqueña y M.A. de Quevedo; asimismo, por el norte, en las cercanías de la avenida División del Norte, no lejos de la calzada de Tlalpan.

En los lugares en donde se ha extraído cantera basáltica, se observa una capa de suelo de color rojizo resultado de la metamorfosis de la arcilla del suelo por la influencia de lava candente, que se presentó en estos lugares debido a la combustión en presencia de oxígeno. En donde el oxígeno era poco, la materia vegetal se carbonizó.

En Coyoacán, las regiones más elevadas se componen de rocas de erupciones volcánicas (Ver anexo plano 9); el resto de la región es bajo y uniforme, compuesto de materiales como gravas, arenas, tobas, cenizas volcánicas, lodos, arcillas, limos, aluviones. El relleno de la parte baja de Coyoacán es muy profundo; prueba de ello es el pozo perforado en Xotepingo, que alcanza aproximadamente unos 1000 m de profundidad.¹⁷

III.11.- Clima. Coyoacán se ubica en la parte más baja de la cordillera volcánica transversal y es parte integrante de la gran cuenca de México; su clima es el predominante en el sur de la cuenca. En términos generales, podemos decir que la delegación de Coyoacán presenta un clima templado con lluvias en verano y parte del otoño¹⁸ (Ver anexo plano 10).

17 Cfr. Ibidem.

18 Cfr. Cuaderno Estadístico Delegacional, "Coyoacán"

III.12.- **Temperatura.** La diferencia de temperatura entre el mes más caliente y el más frío es de 5.7°C, es decir, los cambios estacionarios de la temperatura no son muy grandes: la media anual es de 16.7°C (Ver anexo plano 11).

TABLA 2
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y ANUAL EN GRADOS CENTIGRADOS POR
ESTACION METEOROLOGICA¹⁹
15 AÑOS DE OBSERVACION: 1980-1995

MES	ESTACION Santa Ursula Coapa
ENERO	13.3
FEBRERO	14.6
MARZO	17.9
ABRIL	18.9
MAYO	19.0
JUNIO	18.7
JULIO	17.7
AGOSTO	17.8
SEPTIEMBRE	17.1
OCTUBRE	17.1
NOVIEMBRE	15.0
DICIEMBRE	13.6
PROMEDIO ANUAL	16.7

III.13.- **Lluvias.** El periodo de mayor precipitación pluvial abarca las estaciones de verano y otoño (los meses de junio, julio, agosto y septiembre). Asimismo, el periodo seco

corresponde a las estaciones de primavera e invierno, tal como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 3
PRECIPITACION MENSUAL Y ANUAL PROMEDIO EN MILIMETROS POR ESTACION
METEREOLOGICA^{2o}
15 AÑOS DE OBSERVACION: 1980-1995

MES	ESTACION Santa Ursula Coapa
ENERO	9.1
FEBRERO	6.8
MARZO	11.3
ABRIL	26.3
MAYO	71.5
JUNIO	144.3
JULIO	157.3
AGOSTO	151.8
SEPTIEMBRE	135.7
OCTUBRE	74.0
NOVIEMBRE	8.4
DICIEMBRE	7.5
TOTAL ANUAL	804

De acuerdo a los datos conocidos, la delegación Coyoacán tiene mayor precipitación pluvial que algunas otras zonas del Distrito Federal. Por ejemplo, el centro de la ciudad tiene un promedio anual de lluvia de 578 mm, en tanto que el de Coyoacán es de 804 mm; hecho que se atribuye a la influencia del relieve de las montañas del Ajusco y a la de los vientos dominantes en el

valle, que corren del noreste al suroeste, lo que hace a esta zona del Ajusco húmeda y lluviosa.

Mientras tanto, se registran un promedio de 69 días de heladas, cuya frecuencia es mayor en los meses de noviembre, diciembre y enero; se registran, además, heladas tempranas en octubre.

III.14.- Datos generales sobre las viviendas y sus moradores.

La siguiente información proviene de la encuesta llevada a cabo por el Ingeniero Químico Ulises Martínez en las mismas casas que se monitorearon para este trabajo, aunque en un periodo diferente ²¹ (Ver anexo plano 12).

III.15.- Características y tipo de vivienda. La gran mayoría de las casas monitoreadas son unifamiliares y constan de dos niveles (planta baja y primer piso). Sólo dos de las quince casas monitoreadas se encuentran en condominio.

En el 12% de casas, las ventanas se mantienen abiertas en el día, de 7 a 12 de la mañana; el 72%, en el día y en la tarde, de 7 a.m. a 6 p.m.; el 26%, sólo en la tarde, del mediodía a las 6 p.m. En otras palabras, consideramos que las ventanas de estas casas permanecen semiabiertas.²²

El 100% de las casas monitoreadas goza de ventilación natural, mientras un 36% posee, además, ventilación mecánica (calefacción o aire acondicionado).

21 Cfo. Martínez Velázquez, Ulises, Op. Cit.

22 Vid. Supra. el mismo apartado referente a Tlahuac.

(calefacción o aire acondicionado).

Un alto porcentaje de las casas (48%) se construyó entre 1974 y 1984; el 28%, de 1984 a la fecha, y el 24%, antes de 1974.

III.16.- **Materiales de construcción y acabado.** El 100% de las casas monitoreadas se construyeron, tanto en su obra negra como en su cimentación, con concreto.

Todas las casas presentan recubrimiento de yeso o tirol en sus paredes, y la gran mayoría también muestra papel de tapiz o madera sobre esas mismas paredes.²³

El 28% de los pisos es de mármol; el 8% es de cemento; el 40% emplea losetas; y el 24%, losetas vinílicas.

III.17.- **Datos generales y hábitos de los moradores.** El 60% de las casas aloja entre cuatro y ocho moradores; el 24%, más de ocho; el 16%, entre uno y tres.

En el 16% de las casas hay de uno a tres fumadores. En el resto no se encontraron fumadores.

Entre todos los moradores, el 28% son niños.

No hay datos disponibles acerca de los hábitos de cocina y el tipo de aceite que estos moradores emplean al cocinar.

23 La encuesta no indica porcentajes.

CAPITULO IV. PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA CONCENTRACION DE RADON EN EL INTERIOR DE CASAS HABITACION**IV.1.- Hábitos de ventilación**

La concentración de Radón en el interior de casas habitación o de cualquier otro tipo de inmueble depende de varios factores. Uno de ellos es la falta de ventilación. Si las puertas y ventanas de una casa permanecen cerradas, tiene lugar un intercambio de aire a velocidades muy pequeñas, y como consecuencia, una concentración alta de Radón. En las viviendas que monitoreamos, que carecen de calefacción y de aire acondicionado, los hábitos de ventilación condicionan que las diferencias más grandes en las concentraciones de Radón en el interior ocurran siempre entre el verano y el invierno.

IV.2.- Presencia de humedad en el suelo a causa de precipitación pluvial

Al llover disminuye la capacidad de intercambio del Radón del suelo con el medio ambiente. La humedad del suelo puede disminuir el flujo de ^{222}Rn hacia el interior de la casa, al evitar su mayor difusión, debido a que el Radón es soluble en agua. Igualmente, a mayor humedad, disminuye el coeficiente de difusión intergranular, lo que cierra los poros en el primer metro o metro y medio del suelo debajo de la casa.

En ausencia de lluvias, la amplitud y frecuencia de fracturas en la zona superior del suelo aumenta, lo que permite un intercambio más directo de ^{222}Rn del suelo con la atmósfera; y por lo tanto, al interior de las viviendas. Al mismo tiempo, el

coeficiente de difusión intergranular se incrementa, lo que permite un mayor índice de migración de ^{222}Rn desde el material no fracturado hacia las fracturas del suelo. La migración de ^{222}Rn a la atmósfera durante periodos estacionales secos se incrementa de modo considerable.

Gallardo y sus colaboradores²⁴ han establecido que los cambios en la saturación de humedad del suelo pueden alterar el flujo de ^{222}Rn por un factor de 10 o más. Por consiguiente, se esperarían tales variaciones en nuestro trabajo experimental, pero en realidad encontramos que este factor es de 6.

IV.3.- Migración del Radón desde las rocas, minerales y suelo debajo de las viviendas

La vida media del ^{222}Rn es de $T_{1/2} = 3.82$ días, lo que facilita su migración a grandes distancias desde sus sitios de producción natural, a saber, rocas minerales y suelo.²⁵ Un isótopo de vida corta del Radón, ^{220}Rn ($T_{1/2} = 55.6$ s), es de interés particular porque también se encuentra en muchos minerales, suelos y rocas, con una actividad equivalente a la del ^{222}Rn , y es capaz de migrar a una distancia similar en menor tiempo.

Cuando los minerales, rocas y suelo se encuentran en contacto con el volumen de aire en el interior de una vivienda, ya sea como parte de los materiales de construcción o del piso,

24 Cfr. Gallardo Et. al., "Assesment of the Effect of Environmental Factors on Radon Concentration in Soils". En: Nucl. Tracks Radiat. Meas., vol. 19, nos. 1-4, 1991.

25 La radiación alfa sólo logra atravesar unos cuantos centímetros, mientras el radón se desplaza 2 ó 3 metros desde su fuente de origen.

representan un peligro para la salud por su emisión de Radón. Los aparatos de calefacción y los materiales de decoración emanan productos filiales del ^{220}Rn , lo que aumenta la concentración de Radón en el interior de una casa habitación.

IV.4.- Presencia de óxidos metálicos

En investigaciones anteriores,²⁶ se ha observado que un factor muy común causante de anomalías en las concentraciones de Radón es la presencia de óxidos metálicos en el suelo, que absorben o fijan el Uranio y el Radio. El estudio de arenas gluconíticas mediante el microscopio electrónico de barrido muestra la afinidad del Uranio con los óxidos metálicos, así como la diseminación de Uranio a lo largo de cada grano gluconítico. Estos óxidos metálicos cubren los granos y fracturas, lo que eleva dramáticamente la emanación de Radón en las rocas y los suelos.

La emanación de Radón en estas arenas es muy homogénea. La fuente de Radón más común en ellas es el Uranio y el Radio con óxidos de hierro que recubren la superficie de granos de cuarzo.

IV.5.- Otros factores que contribuyen a la concentración de Radón en casas habitación

Otros factores que contribuyen al alto índice de Radón en casas habitación son: la alta concentración de Uranio encontrada en las rocas de cimentación, o soporte, y en el suelo debajo de la casa:

26 Cfr. Gallardo, Et al., artículo citado.

la presencia de un volumen de aire en el suelo debajo de la casa, que mantiene el transporte de Radón hacia el interior, por lo que a un mayor volumen, hay un mayor intercambio; la colocación de la habitación monitoreada en relación con el suelo (la concentración de Radón será mayor en las partes más bajas de la casa, como son el sótano y el primer piso, debido a la emanación del subsuelo que pasa directamente a través del piso sólido al aire del cuarto).²⁷

Normalmente, en todos los tipos de suelo y rocas están presentes el Radio y su último precursor, el Uranio. Su cantidad está en función del sitio específico y del material geológico. El Radón, como todo otro material gaseoso, puede moverse a través del suelo libremente desde su fuente natural. La distancia de emanación se determina midiendo el índice de difusión, la permeabilidad efectiva del suelo y su propia vida media; cálculos que se introducen después a una fórmula.²⁸

El contribuyente principal a la concentración de Radón en el interior de las viviendas es la emanación desde el suelo. Si hay material rico en Uranio descansando cerca de la superficie de la tierra, puede haber altos índices de emanación de Radón. En tales lugares, la exposición a Radón puede ser muy peligrosa; se cree que la alta actividad de Radón es la principal causa

²⁷ ²⁷ En cuanto a los espacios externos --ya que en este trabajo se monitorearon también jardines-- se ha detectado que la concentración de Uranio equivalente en el suelo posee poca relación con la concentración de ²²²Rn. Esto hace suponer que los factores que predominan sobre los niveles de ²²²Rn en el medio exterior deben de ser otros.

²⁸ Vid infra, capítulo 7.

significativa de muerte por cáncer de pulmón.

Como ya anotamos, en nuestro estudio la concentración de Radón en interiores es siempre más alta en invierno y primavera, debido a la baja humedad del suelo. Sin embargo, estos niveles de Radón en el interior de casas habitación sólo pueden conocerse con una exactitud limitada, aun cuando se efectúen mediciones de largo periodo integradas sobre un año completo. Esto nos indica que los resultados no son reproducibles de un año a otro.

Se ha encontrado que el índice de exhalación del Radón del suelo se incrementa continuamente con el aumento de temperatura: a 50°C, el índice de exhalación de ^{222}Rn puede ser hasta cuatro veces el índice a 20°C.²⁹

IV.6.- Contribución a la concentración de Radón por materiales de construcción

El escape de Radón de los materiales sólidos a los poros de los granos, una fase del gas, se llama emanación de Radón. El coeficiente de difusión de estado sólido del Radón es muy bajo, y por ende, la emanación por la difusión del estado sólido es casi insignificante a temperatura ambiente. El proceso dominante en la emanación de Radón es la reacción alfa, en la que los átomos de Radón son expulsados del material sólido debido a la energía de la partícula alfa emitida durante el decaimiento del nucleido

²⁹ Cfr. Tso, Man-Yin W., Chor-yi-Ng y John K.C. Leung, "Radon Release From Building Materials in Hong Kong". En: Health Physics, vol. 67, no. 4, octubre 1994.

progenitor.³⁰

En el caso de los materiales de construcción, el índice de emanación de radón registrado es muy bajo y no causa peligro a la salud, aun considerando la suma de las emisiones de todos los materiales de construcción que componen una vivienda.

El Radón en el interior de las viviendas proviene de varias fuentes mayores, principalmente de los diversos materiales de construcción, de los materiales del suelo, de las rocas y de aquellos alrededor de los cimientos de la vivienda (Ver figura 7). Para minimizar el peligro de altas emisiones de Radón en interiores, es necesario conocer los índices de emanación de los materiales que generan Radón, la forma de transportación del Radón a través de varios de ellos, del mismo modo que cómo el Radón entra en la atmósfera interior de la casa habitación.

Se ha encontrado que la emanación de Radón varía con el tipo de roca, tal vez debido a la variación en el contenido de los elementos radioactivos en los diferentes especímenes.³¹

Los materiales de construcción se manufacturan a partir de materiales naturales (arena, roca, cemento), que contienen trazas de isótopos radioactivos también naturales. La vida media del Radón es de 3.8 días, tiempo lo suficientemente grande para que parte de éste se difunda del material de construcción al interior

30 Cfr. Sun, Hongbing. "Monte Carlo Simulation of Radon Emanation from Dry Building Materials". En: Health Physics, vol. 68, no. 4, abril 1995.

31 Cfr. Singh, Surinder y Ghuman, H.S.. "The Measurement of Radon Emanation Rates from Some Rock Specimens and Building Materials Using Radon Emanometry and LR-115 Plastic Track Detector". En: Nucl. Tracks Radiat. Meas., vol. 15, nos. 1-4, 1988.

del cuarto. La decoración de la pared interna usada para cubrir los materiales de construcción en bruto actúa de tal manera que disminuye o incrementa esta emanación. Esto depende de si el material de decoración se comporta como un sellador contra la emanación de Radón o como una fuente más del mismo.

En el caso concreto de la pintura, ésta reduce la emanación de Radón de los ladrillos, pues actúa como un sellador de los poros entre los granos, y reducen así la emanación de gas. Las pinturas de esmalte amarillo, verde y azul, son las más eficientes para reducir la emisión alfa (al menos a un cuarto del valor total de los ladrillos al descubierto). Por lo que respecta a la pintura vinil blanca, reduce la emanación sólo en la mitad en comparación con la pintura de color (amarilla, verde, azul); la causa, probablemente, es que la pintura de color blanco contiene suficientes materiales alfa activos que compensan la absorción alfa de los materiales estructurales.

La madera, el vidrio, la pizarra y el mármol tiene bajos índices de exhalación ($\approx 0.1 \text{ nBq g}^{-1} \text{ a}^{-1}$), mientras que los azulejos de cerámica, el concreto, la fibra de vidrio, la grava y el yeso tienen índices medios que varían de 0.7 a $5.4 \text{ nBq g}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

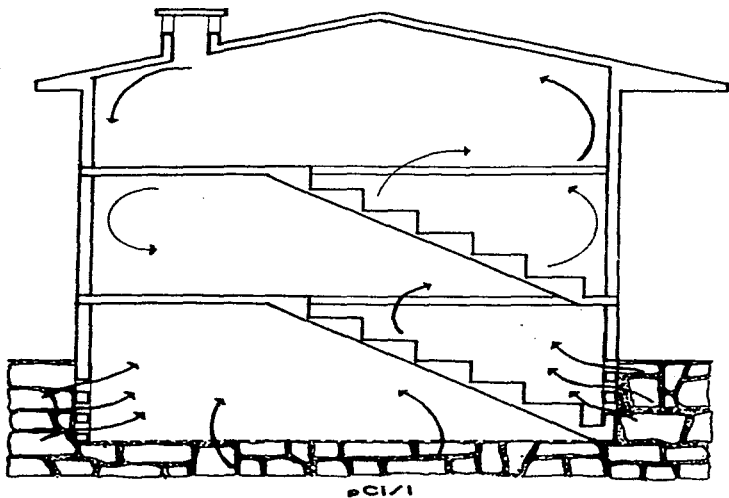
32 Cfr. Zikovský, Lubomír, "Determination of Radon Exhalation Rates from Canadian Building Materials with an International Proportional Counter". En: Nucl. Tracks Radiat. Meas., vol. 20, no. 3, 1992.

La exhalación de Radón de materiales de construcción ha sido reconocida sólo como una contribución parcial a la concentración total de Radón en el aire en el interior de las viviendas. Las series del ^{232}Th , los productos filiales primarios del Radón, se presentan en concentraciones menores en materiales de construcción.

CONCENTRACION DE RADON

CASAS HABITACION

45



2^o PISO

	Feb.- Abr.	Oct.- May.	May. - Oct.	Prom. Anual
2 ^o PISO	11.0	12.1	2.4	7.1
1 ^o PISO	25.5	12.2	3.0	7.6
P. BAJA	—	16.6	4.5	10.6
SOTANO	40.5	12.8	9.1	20.8

fig 7

CAPITULO V. CORRELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE RADON MEDIDAS DURANTE PERIODOS CORTO Y LARGO.

Es momento de que abordemos la preocupación central de este trabajo, que es teórico-experimental. Esto es: correlacionar las concentraciones de Radón obtenidos por periodos cortos con los obtenidos en periodos largos, medidas en un sitio específico, a partir de un modelo matemático; observar sus aproximaciones, con el fin de verificar si, a partir de las mediciones de periodo corto, la ecuación propuesta es efectiva en la predicción de la concentración promedio anual en las viviendas.

En este trabajo se midieron las concentraciones de Radón en el interior de viviendas de las delegaciones políticas de Tláhuac y Coyacán durante un año (cuatro estaciones). Estas mediciones de periodo largo se compararon posteriormente con las de periodo corto realizadas por Alejandro Ramirez en Tláhuac (primavera-verano) y por Ulises Martínez Velasco en Coyacán (verano-otoño).³³ Se efectuó un ajuste de regresión lineal para obtener la aproximación adecuada entre ambos tipos de mediciones. Gracias a ésta, pudo establecerse un rango de probabilidades dentro del cual se localizaría la concentración anual de Radón tras un cálculo a partir de las mediciones de corto plazo y aplicando el

33 Cfr. Ramirez Alejandro, *Op. Cit.*; y Martínez, Ulises, *Op. Cit.* Las mediciones de estos estudios se llevaron a cabo con un monitor continuo de niveles de trabajo, en periodos de 24 horas. El hecho de que se haya empleado un método distinto al nuestro no introduce incertidumbre alguna en la comparación.

modelo matemático ideado por White, Alexander y Rodman.³⁴

Se han realizado pocos estudios sobre nuestro tema. En algunos casos, también se ha comparado la concentración media anual con las concentraciones en diferentes estaciones del año. La mayoría se basa en un modelo que implica condiciones ideales. Por las ventajas que esto ofrece a nuestros cálculos, nosotros nos unimos a ellos. Sólo unos cuantos toman en consideración factores tales como las características particulares (acabado, tipo de cimentación, tamaño...) de las viviendas, pero la contribución de esos factores no nos parece significativa.

V.1.- Predicción de las concentraciones anuales de Radón en el interior de casas habitación a partir de mediciones de periodo corto de exposición

Las mediciones de concentración de Radón de periodo corto no reflejan en forma directa la concentración promedio anual. Sin embargo, necesidades prácticas hacen indispensable un modelo capaz de predecir de manera confiable (es decir, con un rango de error no mayor de 10 a 12%) la concentración anual de Radón a partir de la información sobre periodos cortos. Tal modelo permitiría, en caso de la presencia de altas concentraciones de Radón, aplicar un método preventivo y no sólo uno correctivo, que supondría mayores riesgos y un gasto elevado.

En nuestro caso particular, comparamos la concentración media anual con concentraciones obtenidas en periodos de un día.

³⁴ Cfr. White, S.B.; Alexander, Barbara, V. y Rodman, Nathaniel F., "Predicting the Annual Concentration of Indoor ²²²Rn From one or More Short-Term Measurements". En: *Health Physics*, vol. 66, no. 1, enero 1994.

en cualquier época del año. White Et al.³⁵ afirman que la relación entre el promedio anual de la concentración de Radón (ALAA₁) y las mediciones de dos días no es lineal. Tal relación tiende a incrementarse conforme aumenta también la concentración de Radón en las mediciones de período corto. El modelo matemático empleado por White Et Al. para relacionar las concentraciones de periodos cortos y largos, es el siguiente:

$$ALAA_1 = e^{\alpha x_1} e^{\epsilon_1} \quad \text{ecuación (a)}$$

Donde

ALAA₁ = Promedio anual de la concentración de Radón en una vivienda promediado, a su vez, con el del total de las casas monitoreadas.
 x₁ = Promedio de la medición de dos días tomada en el primer nivel de todas las casas durante una estación.
 α, β = Parámetros que han de determinarse.
 ε₁ = Error aleatorio en las mediciones.

Si aplicamos una transformación logarítmica a la ecuación, ALAA₁ se convierte en un modelo simple de regresión con errores que son homogéneos y aditivos:

$$\ln(ALAA_1) = \alpha + \beta \ln x_1 + \epsilon_1 \quad \text{ecuación (b)}$$

Los parámetros α y β fueron derivados para tener una ecuación con 95% de confiabilidad en valores predictivos individuales. Los valores obtenidos con esta ecuación pueden transformarse a su escala de medida original.

En viviendas en las que las mediciones de dos días reportan concentraciones menores de 20 Bqm⁻³ o mayores de 925 Bqm⁻³ (es decir, concentraciones no significativas, o bien, demasiado elevadas como para aplicar acciones preventivas), pierde interés

el predecir el ALAA₁ a partir de este modelo, pero decidimos no descartarlas.

Calculamos el error estándar promedio, σ . La predicción se vuelve menos precisa conforme σ aumenta.

Los resultados de la ecuación (b) se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 4

TEMPORADAS	ECUACION DE PREDICCION	R ²	σ
I	$\ln(ALAA_1) = 1.28 + 0.68 \ln x$	0.61	0.46
P	$\ln(ALAA_1) = 1.48 + 0.66 \ln x$	0.68	0.41
V	$\ln(ALAA_1) = 2.29 + 0.53 \ln x$	0.47	0.52
O	$\ln(ALAA_1) = 1.24 + 0.71 \ln x$	0.66	0.45

I= invierno; P= primavera; V= verano; O= otoño

Donde el parámetro de pendiente estimado, β , es igual a 0.8; éste difiere significativamente de la unidad, lo que indica que la relación entre ALAA₁ y las mediciones de dos días en una estación, en la escala original, no es lineal. El valor calculado de σ es igual a 0.46. Esta es una prueba de que puede predecirse el valor de ALAA₁ dado un valor de x . Por ejemplo, el intervalo de 95% de confiabilidad para predecir un valor de ALAA₁, puede ser aproximado de la siguiente manera:

$$95\% \text{ CI} = (ALAA_1 e^{-2\sigma} - ALAA_1 e^{2\sigma}) \text{ ecuación (c)}$$

Conforme σ disminuye, el ancho del intervalo se reduce y mejora la precisión del valor predicho. Este procedimiento proporciona una buena aproximación con muestras con

concentraciones grandes menores a 925 Bqm^{-3} .

El logaritmo natural (\ln) de $ALAA_1$ aumenta linealmente en el \ln de x , y la dispersión vertical de \ln de $ALAA_1$ es similar para todo el rango de \ln de x .

La relación entre el logaritmo de $ALAA_1$ y las mediciones de dos días cambia de acuerdo con las estaciones del año. En verano, β es más pequeña, α es mayor, al igual que σ : los valores estimados de $ALAA_1$ en verano son tan sólo de 20 a 30 Bqm^{-3} mayores que en otras estaciones, lo que para fines prácticos puede no ser muy importante. El factor estacional se muestra en la siguiente tabla estacional.³⁶

TABLA 5

TEMPORADA	ECUACION DE PREDICCIÓN	R2	σ
I,P	$\ln(ALAA_1)=1.21+0.71 \ln x$	0.72	0.39
I,V	$\ln(ALAA_1)=1.41+0.69 \ln x$	0.69	0.40
I,O	$\ln(ALAA_1)=1.04+0.74 \ln x$	0.72	0.39
P,V	$\ln(ALAA_1)=1.62+0.66 \ln x$	0.71	0.39
P,O	$\ln(ALAA_1)=1.07+0.75 \ln x$	0.78	0.35
V,O	$\ln(ALAA_1)=1.35+0.71 \ln x$	0.72	0.39

I= invierno; P= primavera; V= verano; O= otoño

La relación entre dos mediciones cualesquiera de concentración de Radón se examina con frecuencia analizando los logaritmos de las relaciones de las dos variables. Así, por ejemplo, en la ecuación (b), si $\beta = 1$, al dividirla entre x_1 ,

³⁶ En la tabla se adoptó el \ln de $ALAA$ y el logaritmo de la media de todos los pares posibles de medias de dos días (media de invierno-primavera, media de invierno-verano, media de invierno-otoño, media de primavera-verano, media de primavera-otoño y de verano-otoño).

tomando logaritmos a ambos lados de la ecuación, se obtiene:

$$\ln(ALAA_1) = \alpha + \ln x_1 + \epsilon_1$$

White Et al.²⁷ han demostrado que β es significativamente menor a la unidad en un rango que comprende de 0.53 a 0.71 (véase la tabla anterior). Estos valores hacen confiable una predicción de la concentración de Radón de periodo largo a partir de mediciones de dos días.

Dos mediciones de periodo corto (2 días) ofrecen los mejores resultados para la predicción de la ALAA₁. En la práctica, no es recomendable realizar 3 ó 4 mediciones de periodo corto en diferentes estaciones del año para determinar la ALAA₁, ya que esto aumenta el valor del factor β .

En mediciones de corto plazo tomadas en cuatro estaciones diferentes, puede obtenerse el valor verdadero de la concentración anual ALAA₁ con un factor máximo de error de 2.

En conclusión, un modelo lineal simple de la forma

$$\ln Y = \alpha + \beta \ln x + \epsilon$$

puede emplearse para correlacionar el promedio anual de la concentración de Radón en una área habitable, ALAA₁, con mediciones de dos días de la concentración de Radón en el interior, x . El modelo parece relacionar bastante bien las mediciones. Como ya se mencionó, la β es significativamente menor a la unidad en todos los casos, por lo que es factible predecir la ALAA₁ en una casa habitación con un alto grado de

confiabilidad, utilizando una medición o dos de período corto en diferentes estaciones del año.

A partir de este planteamiento proyectamos nuestro trabajo experimental, que correlaciona dichas mediciones en Tláhuac y Coyocacán, y cuyos resultados se presentan en el capítulo siguiente.

CAPITULO VI. RESULTADOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

VI.1.- Radiación gamma

Empleando los dosímetros de $\text{CaSO}_4: \text{Dy} + \text{PTFE}$, se tomaron lecturas de radiación gamma en el interior de las casas habitación de las delegaciones de Tláhuac y Coyoacán. los resultados obtenidos se muestran a continuación en las siguientes tablas y gráficas. Estos están reportados en mR/30 días; y por cada estación del año, obteniéndose un promedio por estación y uno de radiación gamma anual.

Para obtener un valor de fondo gamma más aceptable se tomo el valor obtenido en un periodo corto, de trabajos anteriores y el obtenido en este trabajo para calcular un promedio de la suma de ambos (15 meses).

A continuación se describe el cálculo de este fondo gamma obtenido para el caso de la Delegación de Tláhuac.

Tláhuac. Cálculo del fondo gamma ($\mu\text{R}/\text{h}$)

Periodo corto= 8.88 mR/30 días

Periodo largo= 4.8057 mR/30 días

8.88 mR/30 días + 4.8057 mR/30 días = 13.6857 mR/30 días

$\frac{13.6857 \text{ mR/30 días}}{2} = 6.84285 \text{ mR/30 días}$

30 días = 720 h

$\frac{6.84285 \text{ mR/30 días}}{720 \text{ h}} = 9.50396 \times 10^{-3} \text{ mR/h}$

$9.50396 \times 10^{-3} \text{ mR/h (1000)} = 9.5 \mu\text{R/h}$

FONDO GAMMA TLAHUAC = 9.5 $\mu\text{R}/\text{h}$

Para el caso de Coyoacán se hizo lo mismo con trabajos anteriores y este, para obtener un promedio de ambos en cuanto a fondo gamma (14 meses).

Coyoacán. Cálculo del fondo gamma ($\mu\text{R/h}$)

Periodo corto = 9.81 $\mu\text{R/h}$

Periodo largo = 5.4099 mR/30 días

5.4099 mR/30 días = $\frac{5.4099 \text{ mR}}{720 \text{ h}} = 0.00751 \text{ mR/h}$

$7.51 \times 10^{-3} \text{ mR/h (1000)} = 7.51 \mu\text{R/h}$

$7.51 \mu\text{R/h} + 9.81 \mu\text{R/h} = \frac{17.32 \mu\text{R/h}}{2} = 8.66 \mu\text{R/h}$

FONDO GAMMA COYOACAN = 8.66 $\mu\text{R/h}$

Tabla 6

**DATOS DE LOS DOSIMETROS DE CaSO4 : Dy + PTFE (TLAHUAC)
EXPOSICION (mRJ 30 días)**

No. MUESTRA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	PROMEDIO
1	4 7209	4 3478	3 8646	3 6943	4 1569
2	5 4612	5 0697	4 7075	4 1265	4 8412
3	4 6387	4 8919	4 5450	4 1574	4 5583
4	5 1180	4 6410	4 5287	4 2369	4 6311
5	5 4158	5 0378	4 4212	4 1525	4 7568
6	5 1977	3 8258	3 6207	5 3565	4 5000
7	4 8144	4 9947	5 2344	4 9569	5 0000
8	5 6197	5 5430	5 2983	5 1815	5 4106
9	4 6829	5 2759	6 2225	4 5022	5 1708
10	4 8643	5 5989	5 9593	3 7538	5 044
11	5 7606	5 1104	4 9254	4 6940	5 1026
12	4 8257	4 7817	4 4572	3 8703	4 4837
13	4 7833	4 3928	4 4176	4 0653	4 4148
14	5 3166	5 4278	5 0208	5 0739	5 2098

PROMEDIO X
4 8057

LCS x.s
5 5829

LCI x.s
4 0284

PROMEDIO 5 0885 4 9242 4 8016 4 4159 4 8057

DUPLICADO
No. 1 6 0264 5 2679 4 7505 4 6384 5 1708

EXTERIOR 3 8501 4 0871 3 6726 3 4592 3 7770

DUPLICADO
No. 14 4 7087 4 9390 4 7583 4 2820 4 6720

Tabla 7

DATOS DE LOS DOSIMETROS DE CaSO₄ : Dy + PTFE (COYOACAN)
EXPOSICION (mRV 30 días)

No. MUESTRA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	PROMEDIO
62	5 2984	4 7326	3 5291	4 9408	4 6252
63	4 8601	5 4846	4 4236	7 1187	5 4718
64	4 8025	4 7829	4 1918	4 8449	4 6555
65	5 2500	4 9689	4 4018	6 0361	5 1642
66	5 2514	5 4468	5 3903	8 1004	6 0472
67	5 4994	4 8758	5 5182	4 5857	5 1198
68	5 3807	5 0257	6 0236	6 1121	5 6355
69	5 0560	4 9199	4 1828	5 5208	4 9199
70	6 5750	7 5099	7 6478	8 8777	7 6526
71	5 2713	4 7472	4 4848	6 3675	5 2177
72	5 0338	3 8124	5 634	4 8994	4 8449
73	5 2055	6 4522	6 0512	4 8842	5 6485
74	4 8412	5 1921	4 6064	6 6577	5 3268

PROMEDIO X
5.4100

LCS x.s
6.6774

LCI x.s
4.1426

PROMEDIO 5 2559 5 2270 5 0835 5 0735 5 4100

DUPLICADO 5 1432 4 3542 4 4046 5 4773 4 8448
No. 84

EXTERIOR 5 5991 5 2276 4 3092 5 183 5 0797
No. 64

Fig. 8

DATOS DE LOS DOSIMETROS DE CaSO_4 : DY + PTFE (TLAHUAC)

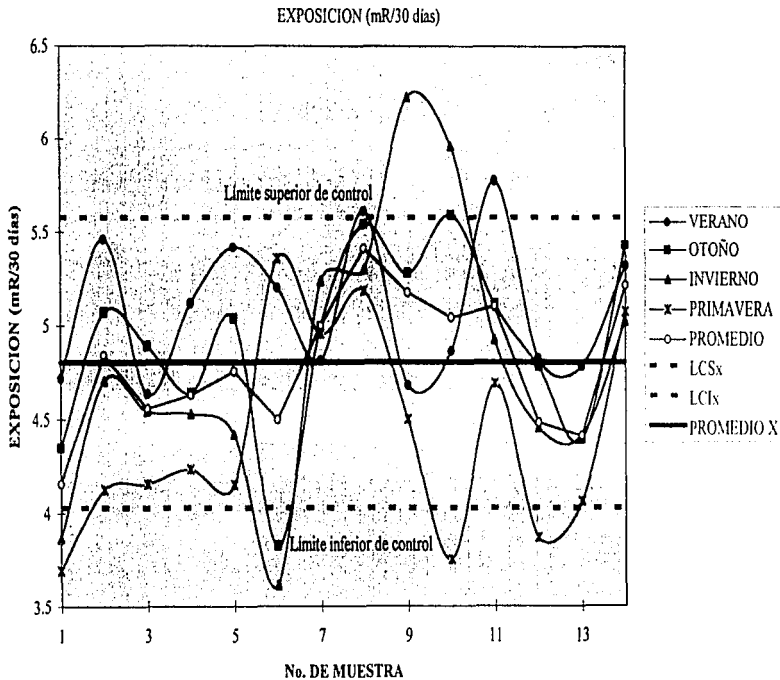
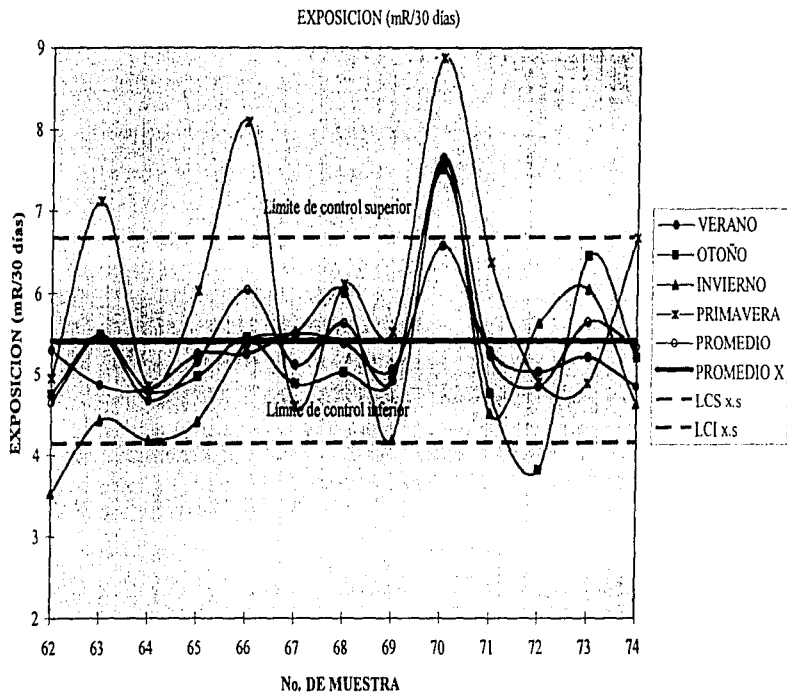


Fig. 9

DATOS DE LOS DOSIMETROS DE $\text{CaSO}_4 : \text{Dy} + \text{PTFE}$ (COYOACAN)



CONCENTRACION DE RADON (pCi/L) CORREGIDA POR FONDO GAMMA (9.5 pR/h)
TLAHUAC

NO. DE MUESTRA	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	CUARTA	PROMEDIO
1	0.7000	16.9000	1.8000	0.0000	4.8500
2	0.1000	6.8000	1.2000	1.5000	2.4000
3	0.7000	0.8000	0.8000	0.0000	0.5750
4	0.1000	0.5000	1.1000	0.0000	0.4250
5	0.7000	0.8000	1.5000	0.0000	0.7500
6	2.8000	1.1000	0.5000	0.0000	1.1000
7	0.0000	0.7000	0.7000	2.7000	1.0250
8	0.0000	0.0000	0.4000	0.0000	0.2500
9	0.7000	0.2000	*57.0000	0.0000	*14.6509
10	1.3000	0.5000	0.4000	0.0000	0.5500
11	0.1000	0.0000	0.0000	0.6000	0.1750
12	6.9000	0.5000	2.3000	0.0000	2.9250
13	1.9000	1.6000	0.4000	0.3000	1.0500
14	0.0000	1.1000	0.0000	0.6000	0.4250
PROMEDIO	1.2857	2.2500	0.8538	0.4500	1.2099
DUPLICADO No. 1	0.1000	0.7000	0.6000	0.5000	0.4750
EXTERIOR No. 1	3.1000	2.7000	2.7000	7.7000	4.0500
DUPLICADO No. 14	0.4000	14.1000	9.1000	4.3000	6.9750

*NOTA: ESTOS VALORES NO FUERON CONSIDERADOS EN EL CONTROL ESTADISTICO.

Tabla 9

CONCENTRACION DE RADON (pCi/L) CORREGIDA POR FONDO GAMMA (8.66 μ R/h)
COYOACAN

No. MUESTRA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	PROMEDIO
62	7 7000	0 0000	0 7000	0 8000	2 3000
63	0 8000	0 0000	1 5000	2 8000	1 2750
64	3 8000	2 4000	1 4000	8 1000	3 9250
65	0 9000	2 9000	1 2000	1 9000	1 5000
66	0 8000	0 0000	0 0000	6 9000	1 9250
67	0 0000	*138 9	1 5000	0 0000	0 3750
68	0 0000	0 1000	1 7000	0 7000	0 6250
69	0 4000	1 4000	0 9000	3 8000	1 6250
70	0 0000	0 2000	0 9000	0 9000	0 5000
71	0 2000	0 0000	1 0000	1 4000	0 6750
72	0 5000	4 1000	0 4000	7 8000	3 2000
73	0 7000	2 1000	2 0000	0 0000	1 2000
74	1 4000	1 3000	0 9000	1 9000	1 3750
PROMEDIO	1 2538	1 2231	1 0923	2 8462	1 5769
EXTERIOR No. 64	5 0500	17 0000	0 7000	2 3000	6 2625
DUPLICADO No. 64	0 0000	0 5000	2 4000	0 8000	0 9250

NOTA: ESTOS VALORES NO FUERON CONSIDERADOS EN EL CONTROL ESTADÍSTICO.

Fig.10

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE MEDICIONES DE RADIACION GAMMA EN INTERIORES

CON CaSO4 : Dy + PTFE (VERANO)

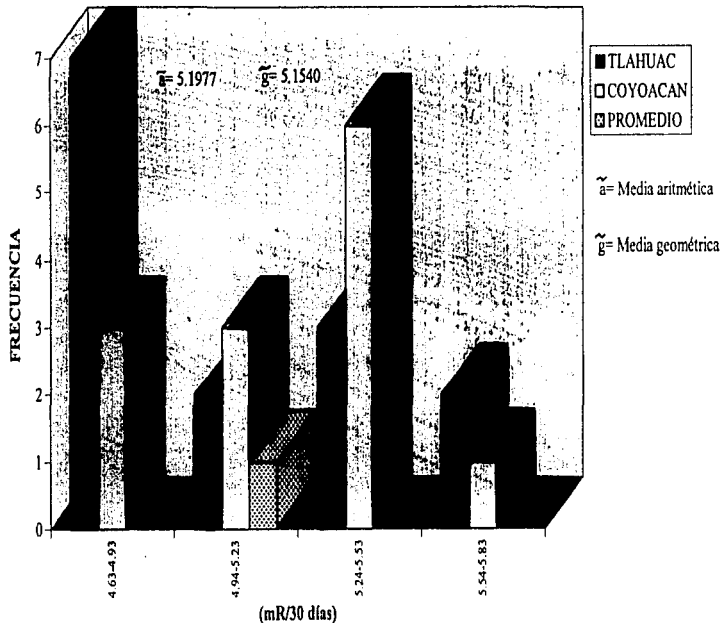


Fig. 11

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE MEDICIONES DE RADIACION GAMMA EN INTERIORES

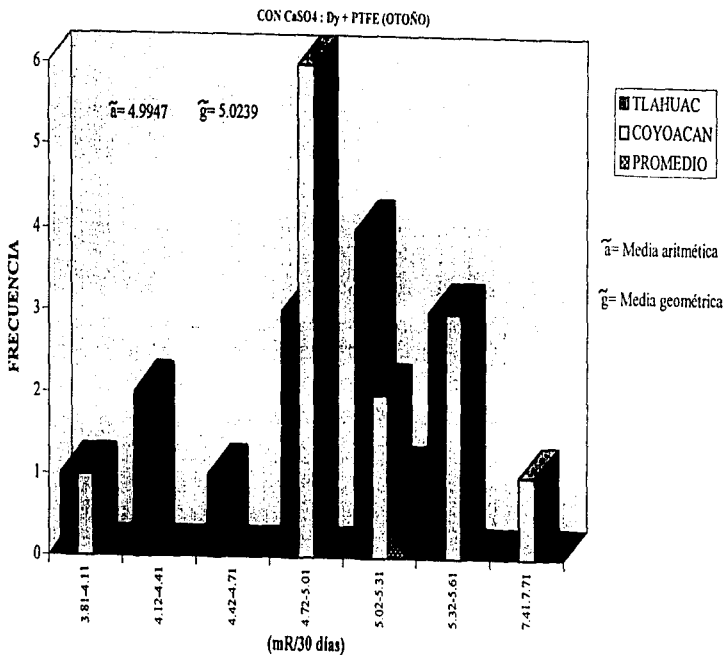


Fig.12

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE MEDICIONES DE RADIACION GAMMA EN INTERIORES

CON CaS04 : Dy + PTFE (INVIERNO)

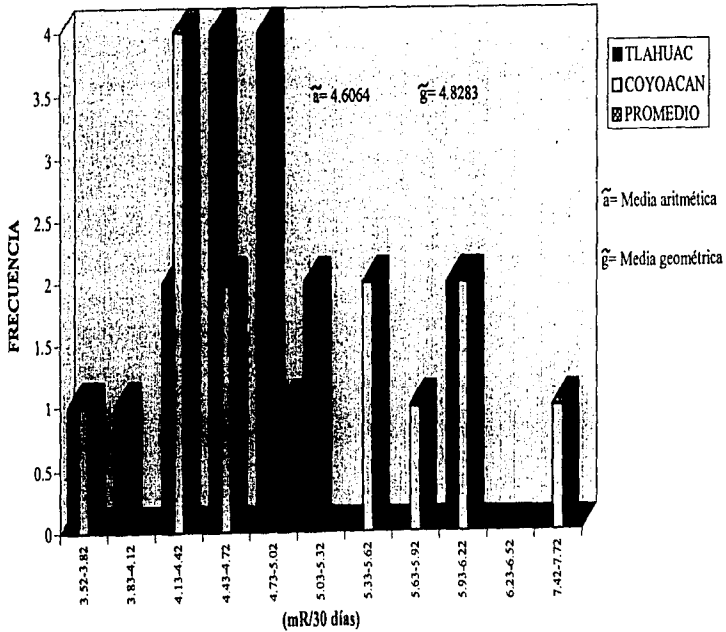


Fig. 13

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE MEDICIONES DE RADIACION GAMMA EN INTERIORES

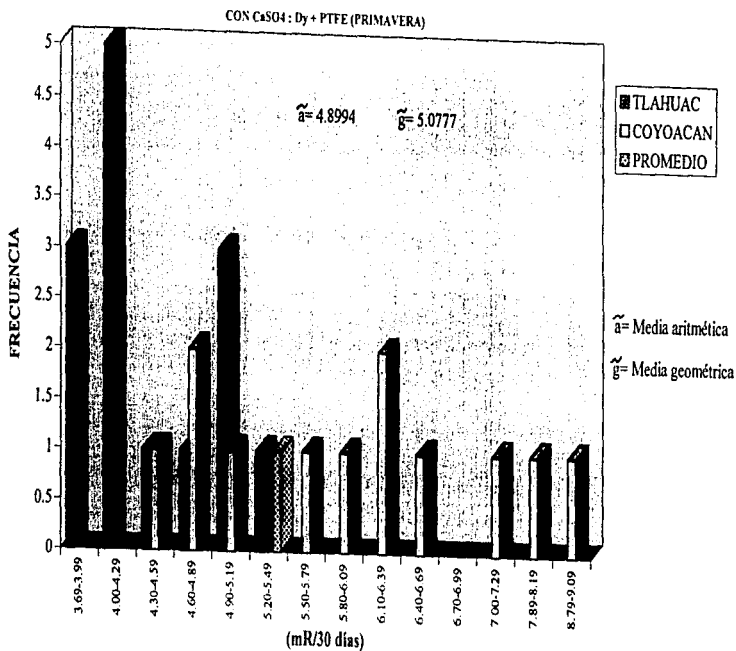
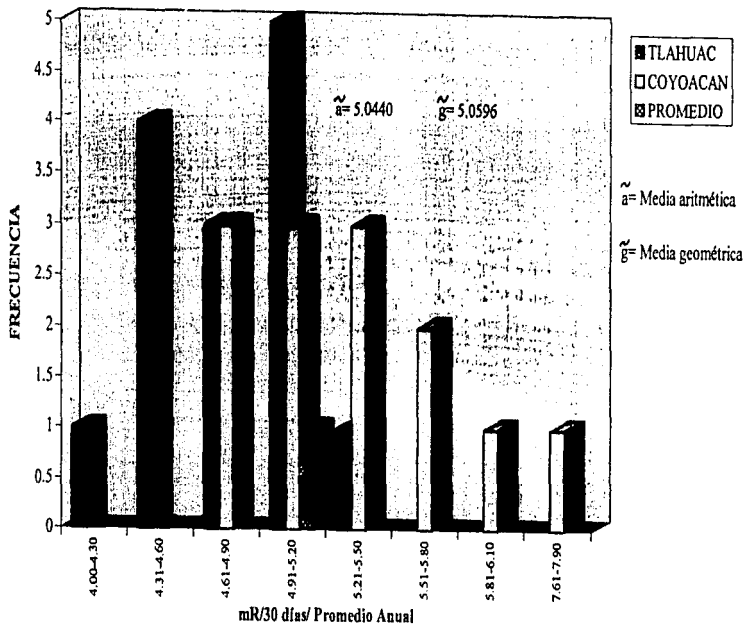


Fig. 14

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE MEDICIONES DEL PROMEDIO ANUAL DE RADIACION GAMMA EN INTERIORES

CON CaSO₄ : D_γ + PTFE



VI.2.-RADON

En una medición de Radón en que se utilizó el sistema E-PERM con electreto de largo plazo, se tomaron en consideración dos lecturas de voltaje: una lectura de voltaje inicial (I) antes de la exposición y una lectura de voltaje final después de la exposición (F). A partir de ellas se obtuvo una diferencia de voltaje ($I - F$). Este valor y el del periodo de tiempo de exposición se introdujeron a una fórmula para convertirse en valores de concentración de Radón. Esta fórmula requiere del cálculo previo del factor de calibración experimentalmente derivado de la cámara y la combinación del electreto con la cámara del E-PERM.

El factor de calibración (CF) se define como el decremento en el voltaje del electreto cuando un electreto específico y una cámara son expuestos por un día a la concentración de 1 pCi/L de Radón. El CF de los E-PERMs se relaciona linealmente con el voltaje del electreto en un rango de 150 V a 750 V.

En el cálculo de la concentración de Radón, primero, se debe determinar el factor de calibración (CF) usando la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación (1) } CF = \frac{\text{volts}}{(\text{pCi/L} \cdot \text{día})} = A + B * \frac{(I + F)}{2}$$

Donde, respectivamente, A y B (la combinación del electreto con la cámara del E-PERM) son constantes en una configuración particular de E-PERMs, y las variables I y F son los voltajes inicial y final.

El valor obtenido de la primera ecuación (1) se emplea en otra fórmula para finalmente determinar la concentración de Radón.

$$\text{Ecuación (2) } RnC = \frac{pCi}{L} = \frac{(I - F)}{CF * D} - BG$$

Donde la RnC es la concentración de Radón en unidades de pCi/L ; y las variables I , F , son los voltajes inicial y final del electreto; D es el periodo de exposición en unidades de días; BG es un factor de corrección en

$$\frac{(pCi/L)}{\mu R/h}$$

necesario para corregir la respuesta a la radiación gamma de fondo presentes en el cuarto monitoreado.³⁸

Las concentraciones de Radón que se obtuvieron en las dos delegaciones que monitoreamos (Tláhuac y Coyoacán), se corrigieron mediante dos procedimientos. En primer lugar, se introdujeron los valores de la radiación gamma obtenidos gracias al método experimental al programa de cómputo E-PERM (proporcionado por RAD ELEC. INC.), lo que nos proporcionó un valor de concentración más exacto. Después, debido a que la altitud es un factor que afecta la concentración de Radón, este valor de concentración de Radón se corrigió por un factor de altura para cada lugar monitoreado y se obtuvo una concentración

³⁸ Este valor se obtiene a partir de una tabla que proporciona la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (Cfr. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation Programs (eds.) Indoor Radon and Radon Decay Product Measurement Device Protocols. Washington, D.C., 1992). La tabla relaciona los valores de BG con el tiempo de exposición. En nuestro caso se midió el fondo gamma por medio de TLD.

más precisa.³⁹

A continuación se muestra el listado del programa E-PERM Basic desarrollado en este trabajo y que efectúa los mismos cálculos que el E-PERM (RAD ELEC. INC.), incluyendo la corrección por factor de altura (HF).

Después de obtener el fondo gamma, este resultado se introdujo en el programa E-PERM para corregir la concentración de Radón por fondo gamma; este programa hace los mismos cálculos que el desarrollado en basic para este trabajo.

Ejemplo del programa E-PERM-basic incluyendo la corrección por factor de altura:

A = 0.02773 (Constante reportada por el manual del equipo)
 B = 0.000012795 (Constante reportada por el manual del equipo)
 Vi = 732 Volts (Lectura inicial)
 Vf = 726 Volts (Lectura final)
 $MPV = \frac{Vi+Vf}{2} = \frac{732+726}{2} = 729$ Volts (Voltaje promedio)
 CF = 0.02723+0.000012795*729 Volts (Factor de calibración)
 $CF = 0.036557555 \frac{\text{Volts}}{\text{pCi/L} * D}$
 BG = 1.14 (Fondo gamma transformado a pCi/L)
 T = 91 días (Periodo de exposición)
 N = 732-726 Volts

³⁹ Este programa de corrección de la concentración de Radón con base en la altitud de los lugares monitoreados, se elaboró en este trabajo y se apoya en datos proporcionados por la EPA (Cfr. Ibidem).

$$N = 6 \text{ Volts}$$

$$Q = CF * T$$

$$Q = 0.036557555 \frac{\text{Volts}}{\text{pCi/L} * \text{días}} * 91 \text{ días}$$

$$Q = 3.3267 \frac{\text{Volts}}{\text{pCi/L}}$$

$$P = N/Q = \frac{6 \text{ Volts}}{3.3267 \text{ Volts}/(\text{pCi/L})}$$

$$P = 1.8036 \text{ pCi/L}$$

$$C = 1.8036 \text{ pCi/L} - 1.14 \text{ pCi/L} = 0.6636 \text{ pCi/L}$$

HF = 1.3737 (Factor de corrección por altura en el caso de Tlalenco) Véase la tabla 9.

$$R = C * HF$$

$$R = 0.6636 \text{ pCi/L} * 1.3737 = 0.9115 \text{ pCi/L}$$

$$R = 0.9115 \text{ pCi/L (E-PERM \# 1 Tláhuac)}$$

A continuación se presentan las gráficas y tablas de las concentraciones de Radón en interiores obtenidas mediante los procedimientos ya descritos, y que constituyeron el objetivo del trabajo experimental.

TABLA 10

10 REM CONCENTRACION DE RADON
20 A = 0.02723
30 B = 0.000012795
40 INPUT "Vi = "; Vi
50 INPUT "Vf = "; Vf
60 MPV = (Vi + Vf) / 2
70 CF = A + B * MPV
80 GB = 1.14 (Este valor es de acuerdo al fondo gamma).
90 INPUT "D = "; D
100 N = Vi - Vf
110 Q = CF * D
120 P = N / Q
130 C = P - GB
140 INPUT "HF = "; HF
150 R = C * HF
160 PRINT "R="; R
161 REM LOCATE 40. 30
162 PRINT "Barra espaciadora para un nuevo cálculo"
164 PRINT "Cualquier tecla finaliza el programa": INPUT AS
165 IF AS = "A" THEN GO TO 30
170 END

Tomando como base $\mu R/h=0.12$ pCi/L, el valor de GB para el caso de Tláhuac es de 1.14; mientras que en el de Coyoacán es 1.039.

Los valores obtenidos de la concentración de Radón fueron corregidos por factores de altura de cada lugar para tener una mejor precisión en la concentración. Para el caso de la Delegación de Tláhuac se tienen los siguientes factores por cada colonia monitoreada.

71

Tabla 11

COLONIA	A.S.N.M.	FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTURA
Santiago Zapotitan	2300	1.3770
Santa Catarina	2320	1.3803
Sn. Fco. Tlaltenco	2280	1.3737
Sn. Pedro Tláhuac	2240	1.3672
Sn. Juan Ixtayopan	2230	1.3655
Sn. Andrés Mixquic	2220	1.3639
Edificio Sede Delegacional	2235	1.3664
Col. Nopalera	2300	1.3770
Col. Los Olivos	2300	1.3770
Col. Agrícola Metropolitana	2300	1.3770
Col. Miguel Hidalgo	2300	1.3770
Col. del Mar	2300	1.3770
Sn. Nicolas Tetelco	2220	1.3639

A.S.N.M. = Altura sobre el nivel del mar.

Para la corrección por factor de altura a la concentración de Radón en la Delegación Coyoacán, se utilizarán los siguientes factores de las colonias monitoreadas.

Tabla 12

CCLONIA	A.S.N.M.	FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTURA
Viveros de Coyoacan	2240	1.3672
Chunubusco	2240	1.3672
Copilco Universidad	2240	1.3672
Ciudad Universitaria	2250	1.3688
Sn. Fco. Culhuacan	2250	1.3688
Sta. Ursula Coapa	2250	1.3688
Edificio Sede Delegacional	2240	1.3672

A.S.N.M. = Altura sobre el nivel del mar.

Tabla 13

**CORRECCION POR FACTOR DE ALTURA DE LA CONCENTRACION DE RADON
pCi/L (TLAHUAC)**

1	0.9115	23.1662	2.4674	0.000	0.6442
2	0.0856	9.3244	1.61	2.0779	3.2745
3	0.9288	1.0594	1.0354	0.000	0.7559
4	0.0932	0.6831	1.6048	0.000	0.5952
5	0.9121	1.0527	2.1076	0.000	1.0181
6	3.8943	1.4429	0.6023	0.000	1.4848
7	0.000	0.9885	1.0111	3.6861	1.4214
8	0.000	0.3013	0.5117	0.7635	0.3941
9	0.9388	0.2624	78.8219	0.000	0.3003
10	1.7708	0.6474	0.4974	0.000	0.7289
11	0.1056	0.000	0.000	0.7926	0.2245
12	12.3856	0.6466	3.1284	0.000	4.0401
13	2.5978	2.1416	0.552	0.3468	1.4071
14	0.000	1.4601	0.0138	0.7539	0.5569

PROMEDIO 1.7582 3.084 1.1648 0.6015 1.6521

DUPLICADO
No. 1 0.0788 0.9413 0.8682 0.6686 0.6442

EXTERIOR
No. 1 0.4911 19.4101 12.4952 5.7951 9.5478

DUPLICADO
No. 14 4.2182 3.7092 3.6516 10.5384 5.5393

Tabla 14

**CORRECCION POR FACTOR DE ALTURA DE LA CONCENTRACION DE RADON
pCi/L (COYOACAN)**

62	10 5998	0 000	0 9811	1 1513	3 1830
63	1 0869	0 000	1 9874	3 1558	1 5578
64	5 2366	3 3023	1 9958	11 1162	5 4127
65	0 0000	3 9707	1 979	2 6338	2 1459
66	1 133	0 000	0 000	4 400	1 3832
67	0 000	1 90 035	2 0592	0 000	0 5148
68	0 000	0 1315	2 3747	0 9899	0 8740
69	0 000	1 6272	1 2737	5 2381	1 6279
70	0 000	0 2271	3 2385	3 2385	1 6760
71	0 2339	0 000	1 2124	1 898	0 8351
72	0 6437	4 9527	0 5805	3 8122	2 4973
73	0 9918	1 7831	2 8672	0 000	1 4105
74	1 8767	1 7777	1 5706	2 6278	1 5706

PROMEDIO 1 6771 1 3454 1 7015 3 0971 1 9553

DUPLICADO 0 000 0 671 3 3459 1 0700 1 2717
No. 64

EXTERIOR 0 090 23 2569 2 7348 3 1339 1 4672
No 64

* Nota Este valor no fue considerado en el control estadístico

Fig. 15

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE MEDICIONES DE CONCENTRACION DE RADON EN INTERIORES

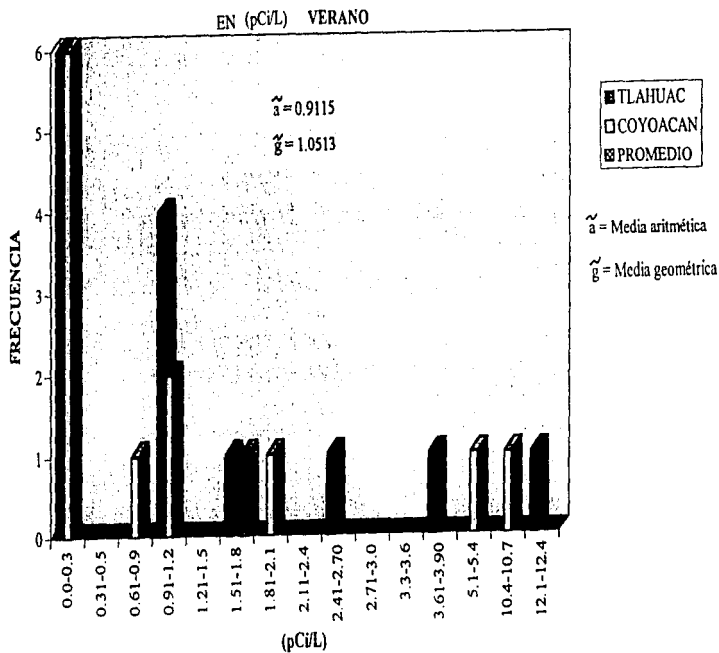


Fig. 16

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE MEDICIONES DE CONCENTRACION DE RADON EN INTERIORES

EN (pCi/L) OTOÑO

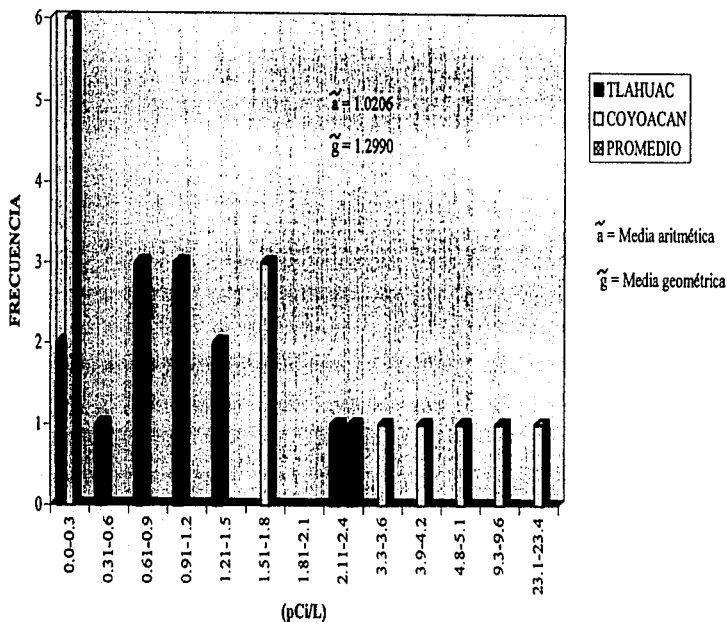


Fig. 17

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE MEDICIONES DE CONCENTRACION DE RADON EN INTERIORES

EN (pCi/L) INVIERNO

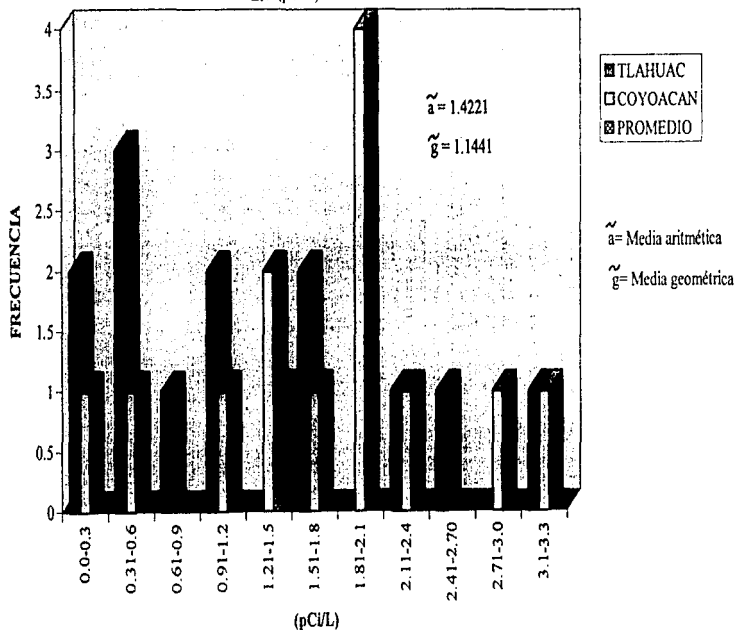


Fig.18

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE MEDICIONES DE CONCENTRACION DE RADON EN INTERIORES

EN (pCi/L) PRIMAVERA

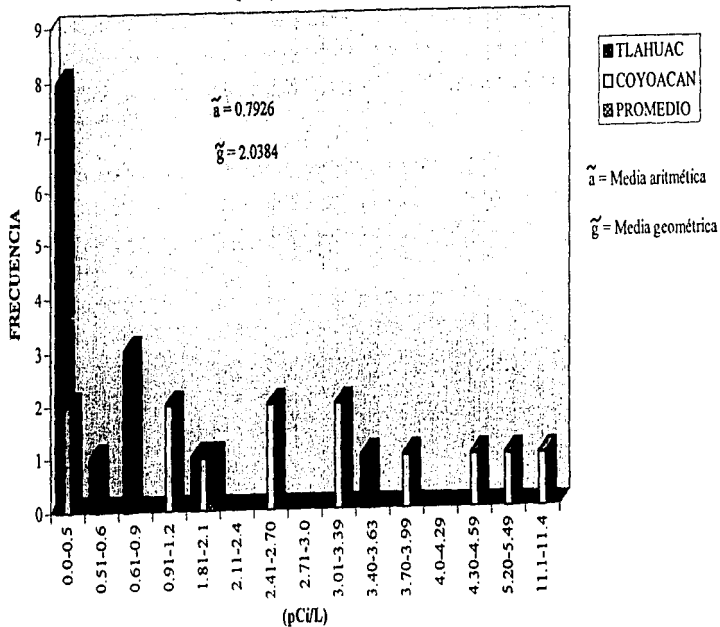
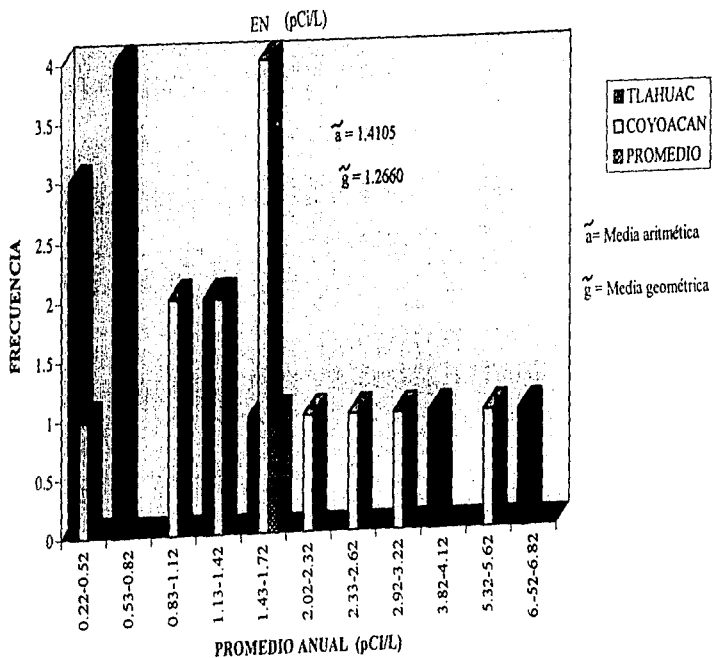


Fig. 19

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE MEDICIONES DE CONCENTRACION DE RADON ANUAL



Además de haber calculado la concentración de Radón y corregido por el factor de altura, se desarrolló para este trabajo otro programa para calcular el error total en las mediciones de cada dispositivo E-PERM empleado. La tabla 17 contiene el listado de dicho programa en *Basic*. De éste se desprenden tres fuentes de error en los monitores de Radón EIC.

Componente de error No.1 (E1). El error asociado con las imperfecciones del sistema componente que incluye incertidumbre en los volúmenes de las cámaras, en los grosores de los electretos y en otros parámetros componentes. Se le ha medido experimentalmente y calculado en un 5%.

Componente de error No.2 (E2). El error en las lecturas de voltaje del electreto, que puede presentar una incertidumbre de hasta 1 voltio en las lecturas inicial y final. Como el error en las diferencias de las dos lecturas es 1.4 voltios, es decir, la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores de 1 voltio, el porcentaje de error es:

$$\frac{100}{(I - F)} \times 1.4$$

Componente de error No.3 (E3). El error debido a la incertidumbre en el fondo gamma. Los valores de fondo gamma promedio estatales en listados por la EPA (proporcionados por la RAD ELEC) no son del todo precisos, y el seguirlos puede alterar los valores reales obtenidos. Es preferible calcular uno mismo la

radiación de fondo gamma de cada lugar.

En el primer caso, se debe considerar un margen de error de alrededor de 0.1 a 0.2 pCi/L. Este componente de error puede disminuirse usando un nivel gamma preciso del lugar. Inclusive si el nivel de fondo gamma es $\pm 20\%$ distinto al valor proporcionado por la EPA, por ejemplo 8 a 12 $\mu\text{R/h}$ cuando el promedio estatal es de 10 $\mu\text{R/h}$, el error introducido al programa es sólo de alrededor de 0.2 pCi/L. A continuación se proporciona un ejemplo de cálculo de error en las lecturas de una casa muestreada (muestra 1, Tláhuac).

Lectura inicial = 732 Volts

Lectura final = 726 Volts

Error por lecturas = $\frac{140 \text{ Volts (constante)}}{(V_i - V_f)}$

$$E = \frac{140 \text{ volts}}{(732 - 726) \text{ Volts}}$$

$$E = \frac{140}{6}$$

$$E = 23.33 \% \text{ (error por lectura)}$$

Sobre la base de que el error en el cálculo del fondo gamma es de $\pm 10\%$, el error en la concentración de Radón es de $A = 0.1$ pCi/L. La siguiente fórmula ilustra la operación para obtener el error por radiación de fondo en la concentración de Radón en la muestra 1 de Tláhuac (0.9115 pCi/L).

$$EI = 100 * (A / C)$$

$$EI = 100 * \frac{(0.1 \text{ pCi/L})}{(0.9115 \text{ pCi/L})}$$

$$EI = 10.9709 \% \text{ (error por radiación de fondo)}$$

El error por geometría que proporciona el fabricante para este tipo de equipos es de 5 % (EG = Error geométrico).

Después de haber obtenido los tres componentes de error mencionados arriba, puede calcularse el error total de la siguiente manera:

$$ET = \sqrt{(E)^2 + (EI)^2 + (EG)^2}$$

$$ET = \sqrt{(23.33)^2 + (10.9709)^2 + (5)^2}$$

$$ET = \sqrt{(544.2889) + (120.3606) + (25)}$$

$$ET = \sqrt{689.6495}$$

$$ET = 26.26 \% \text{ (error total).}$$

TABLA 15

```
10 CLS
20 PRINT "Cálculo de errores ET"
30 PRINT "Voltaje inicial I =":
40 INPUT I
50 PRINT "Voltaje final F =":
60 INPUT F
70 E = 140 / (I - F)
80 PRINT "EL ERROR EN LAS LECTURAS ES DE E=": E
90 PRINT "ACTIVIDAD DE RADON A=":
100 INPUT A
101 PRINT "CONCENTRACION DE RADON C=":
105 INPUT C
110 EI = 100 * (A / C): REM EI
120 PRINT "EL ERROR POR RADIACION DE FONDO ES EI=": EI
130 PRINT "CALCULO DEL ERROR TOTAL"
140 PRINT "E=":
150 INPUT E
160 ET = SQRT((E)^2 + (EI)^2 + (EG)^2)
170 PRINT "EL ERROR TOTAL ES ET=": ET
171 REM LOCATE 10;20
172 PRINT "Barra espaciadora para un nuevo cálculo"
174 PRINT "Cualquier tecla finaliza el programa": INPUT A$
176 IF A$ = "A" THEN GO TO 10
180 END
```

Tabla 16

CORRECCION POR FACTOR DE ALTURA DE LA CONCENTRACION DE RADON
pCi/L ± % ERROR (TLAHUAC)

No. MUESTRA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	PROMEDIO
1	0.9115±25.78	23.1662±2.10	2.4674±17.96	0.000±0.000	0.6442±11.46
2	0.0856±121.95	9.3244±4.94	1.610±24.14	2.0779±18.15	3.2745±42.29
3	0.9288±12.24	1.0594±22.11	1.0354±29.62	0.000±0.000	0.7559±15.99
4	0.0932±112.86	0.6831±27.54	1.6048±24.15	0.000±0.000	0.5952±41.14
5	0.9121±25.78	1.0527±22.14	2.1076±20.55	0.000±0.000	1.0181±17.12
6	3.8943±11.07	1.4429±18.82	0.6023±32.55	0.000±0.000	1.4848±15.61
7	0.000±0.000	0.9885±22.41	1.0111±29.69	3.6861±13.01	1.4214±16.28
8	0.000±0.001	0.3013±43.42	0.5117±40.08	0.7635±30.91	0.3941±28.60
9	0.9388±25.65	0.2624±47.29	7.8219±0.95	0.000±0.000	0.3003±18.47
10	1.7708±18.38	0.6474±27.98	0.4974±40.36	0.000±0.000	0.7289±21.68
11	0.1056±100.96	0.000±0.000	0.000±0.000	0.7926±30.71	0.2245±32.92
12	12.3856±4.32	0.6466±27.99	3.1284±15.88	0.000±0.000	4.0401±12.05
13	2.5878±14.52	2.1416±14.76	0.552±39.41	0.3468±45.35	1.4071±28.51
14	0.000±0.001	1.4601±18.79	0.0138±10.36	0.7539±30.98	0.5569±15.03

PROMEDIO 1.7582±33.82 3.0840±21.45 1.1648±23.26 0.6015±12.08 1.6521±22.65

DUPLICADO 0.0788±131.64 0.9413±22.65 0.8882±30.18 0.6686±31.74 0.6442±54.05
 No. 1

EXTERIOR 0.4911±34.62 19.4101±2.47 12.4952±5.06 5.7951±8.92 9.5478±12.77
 No. 1

DUPLICADO 4.2182±11.90 3.7092±10.36 3.6916±14.35 10.5384±5.47 5.5393±10.52
 No. 14

Tabla 17

**CORRECCION POR FACTOR DE ALTURA DE LA CONCENTRACION DE RADON
pCi/L ± % ERROR (COYOACAN)**

No. MUESTRA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	PROMEDIO
62	10 5998±4 92	0 0000±0 0000	0 9811±22 45	1 1513±29 32	3 1830±14 17
63	1 0869±25 08	0 0000±0 0000	1 9874±14 88	3 1568±15 87	1 5578±13 96
64	5 2366±8 95	3 3023±15 85	1 9958±14 87	11 1162±5 67	5 4127±11 33
65	0 0000±0 0000	3 9707±14 22	1 9790±14 88	2 6338±20 36	2 1459±12 36
66	1 1330±24 95	0 0000±0 0000	0 0000±0 0000	4 4000±14 18	1 3832±9 78
67	0 000±0 000	1 190 035±0 41	2 0592±20 58	0 000±0 000	0 5148±5 25
68	0 000±0 000	0 1315±89 22	2 3747±17 99	0 9899±29 77	0 8740±34 24
69	0 000±0 000	1 6272±18 07	1 2737±19 18	5 2381±9 53	1 6279±11 69
70	0 000±0 000	0 2271±56 25	3 2385±5 23	3 2385±5 23	1 6760±16 68
71	0 2339±55 25	0 0000±0 0000	1 2124±19 35	1 8980±23 92	0 8361±24 63
72	0 6437±32 02	4 9527±10 96	0 5805±39 00	3 8122±9 69	2 4973±22 92
73	0 9918±25 42	1 7831±23 99	2 8672±20 30	0 000±0 000	1 4105±17 43
74	1 8767±18 29	1 7777±24 00	1 5705±16 05	2 6278±20 36	1 5706±19 67

PROMEDIO 1 6771±14 99 1 3454±18 07 1 7015±16 05 3 0971±14 15 1 9553±16 47

DUPLICADO 0 0000±0 0000 0 6710±38 04 3 3459±10 44 1 0700±29 52 1 2717±19 50
No. 64

EXTERIOR 0 0000±0 0000 23 2509±2 95 2 7348±12 23 3 1339±15 88 1 4672±7 76
No. 64

* Nota: Este valor no fue considerado en el control estadístico.

VI.3.-Predicción de la concentración de Radón (ALAA₁)

Para poder aplicar las ecuaciones de predicción de la concentración de Radón enunciadas por White, se tiene que transformar la concentración de Radón de unidades de WL a Bq/m³ mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Concentración de hijos de Radón}}{\text{Concentración de Radón}} = \text{Factor de equilibrio}$$

El factor de equilibrio calculado para Tláhuac es de 0.4, y de 0.28 para Coyoacán. Con este factor se obtiene la concentración de Radón:

$$\frac{\text{Concentración de hijos de Radón}}{\text{Factor de equilibrio}} = \text{Concentración de Radón}$$

$$\frac{\text{Concentración de hijos de Radón (WL)}}{0.4} = \text{Concentración de Rn}$$

Entonces se procede a convertir las mediciones a corto plazo tomadas de Alejandro Ramirez⁴¹ a valores de Bq/m³ para poder aplicar la ecuación de predicción de White:

$$9.43 \times 10^{-4} \text{ WL } (1/0.4) \left(\frac{3700 \text{ Bq/m}^3}{\text{WL}} \right)$$

La concentración de Radón de corto plazo en unidades de Bq/m³ = 8.7228 Bq/m³

A continuación se presenta la ecuación de White para la predicción de la concentración de Radón en primavera usando el valor anterior.

$$\ln (A1AA_1) = 1.48 + 0.66 \ln X$$

$$X = 8.7228 \text{ Bq/m}^3$$

Al introducir el valor de la concentración se concluye lo

41 Cfr. Alejandro Ramirez. Op. Cit. Parte experimental.

siguiente:

$$\ln (ALAA_1) = 1.48 + 0.66 \ln (8.7228)$$

Al aplicar (exp) a la ecuación anterior se desprende que:

$$(ALAA_1) = \exp 1.48 + 0.66 \ln (8.7228)$$

Y al resolver el logaritmo natural:

$$(ALAA_1) = \exp 1.48 + 0.66 (2.1659)$$

$$(ALAA_1) = \exp 1.48 + 1.4295$$

$$(ALAA_1) = \exp 2.9095$$

$$(ALAA_1) = 18.3476 \text{ Bq/m}^3 \quad (\text{valor teórico de predicción corto plazo})$$

Para poder comparar este valor con el experimental, el valor experimental ha de convertirse a las mismas unidades. En este caso se multiplica el valor promedio anual experimental, ya corregido por factor de altura, por un factor de 37, ya que sabemos que $1 \text{ pCi/L} = 37 \text{ Bq/m}^3$ (Tabla 18, para el caso de Tláhuac; tabla 19, para el de Coyoacán).

Un ejemplo de lo anterior es el siguiente.

Se toma el valor promedio anual en la muestra 1 de Tláhuac, previamente corregido por factor de altura, el cual es 0.6442 pCi/L , que al multiplicarlo por $\frac{37 \text{ Bq/m}^3}{1 \text{ pCi/L}} = 28.99 \text{ Bq/m}^3$

Por lo tanto, el valor teórico de predicción = 18.3476 Bq/m^3 ; y el valor experimental (anual) = 28.99 Bq/m^3 .

VI.4.- CONTROL ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS.

El control estadístico es una herramienta de trabajo que esta enfocada para asegurar y dar confiabilidad y calidad al análisis de los resultados que se obtuvieron en los muestreos.

El empleo del método de gráficos de control por variables, establece un límite máximo de variación que estadísticamente se obtiene a partir de las lecturas que se midieron ya sea en cada muestra o duplicado.

El objetivo de este control de calidad, es indicar si existen datos en los cuales se presentó alguna anomalía, que caen fuera de los límites de aceptación (superior o inferior).

Los gráficos de control por variables que se emplean para realizar el análisis son: los gráficos dato-rango ($\bar{x}-r$), que se aplicó en cada una de las muestras y duplicados en forma de grupo.

Las ventajas de aplicar el control estadístico son:

Detección de variables anormales.

Determinar los límites de variación y aceptación con un intervalo de confianza del 99.3% (3σ).

Tabla 18

CALCULO DE LOS LIMITES DE CONTROL.

DATO-RANGO (TLAHUAC)

CORTO PLAZO

E-PERM	X (Bg/m ³)	RANGO
1	18.3476	-
2	44.6074	26.2598
3	32.1078	12.4996
4	38.5209	6.4131
5	29.7313	8.7896
6	32.0725	2.3412
7	32.2752	0.2027
8	35.3642	3.089
9	26.5758	8.7884
10	32.0213	5.4455
11	47.0919	15.0706
12	38.6070	8.2849
13	46.7259	7.9189
14	32.9470	13.7789

PROMEDIO 34.7997 9.1447

 $\sigma_{nx} = 7.6343$ $\sigma_{n-1x} = 7.9285$

Promedio $\bar{x} = 34.7997 \pm 7.6343$

LSCx = Prom x + Ax.r (Prom r)

34.7997 + 2.66 (9.1447)

34.7997 + 24.3249

LSCx = 59.1246

LICx = Prom x - Ax.r (Prom r)

34.7997 - 2.66 (9.1447)

LICx = 34.7997 - 24.3249

LICx = 10.4748

n = 2

Drs = 3.27

Axx = 2.66

Dri = 0

Donde LSCx es el límite superior de control y LICx, límite inferior de control

x: Datos de la concentración de Radón

r: es el rango

Axx, Drs y Dri son constantes

de la tabla de factores para

determinar los límites de control

de las gráficas de \bar{x} y r a partir

de prom r

Ray-e-iv de Métrica. Manual de

Control Estadístico de el proceso.

Métrica D.F., 1996.

CORTO PLAZO

Nota: Los factores se ponen en una distribución normal

Fig. 20

LIMITES DE CONTROL DEL PROMEDIO DE CONCENTRACIONES DE RADON (TLAHUAC)

CORTO PLAZO

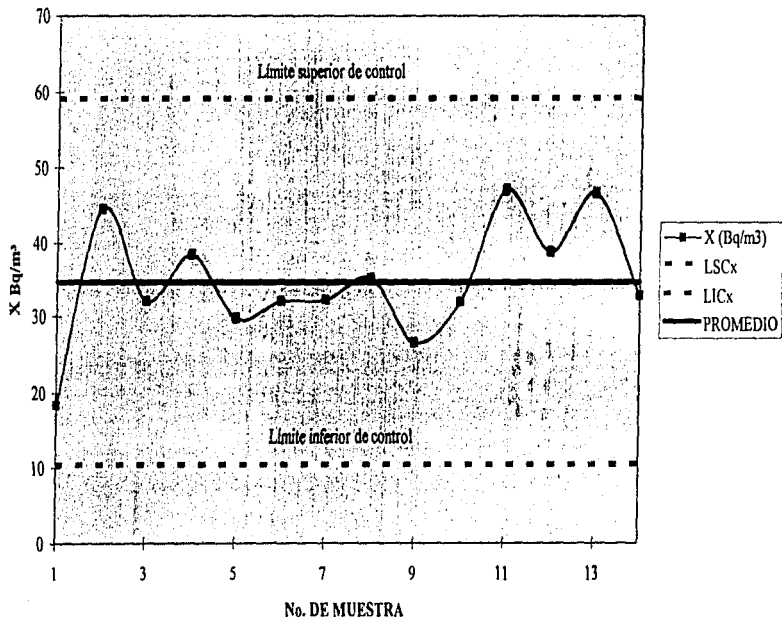


Tabla 19

CALCULO DE LOS LIMITES DE CONTROL

DATO-RANGO (TLAHUAC)

LARGO PLAZO

E-PERM	X (Bq/m ³)	RANGO
1	23.8354	-
2	*121.1593	*97.3239
3	27.9683	*93.191
4	22.0261	5.9422
5	37.6697	15.6436
6	54.9413	17.2716
7	52.5918	2.3495
8	14.5817	38.0101
9	11.1111	3.4706
10	26.9693	15.8582
11	8.3102	18.6591
12	*149.4856	*141.1754
13	52.0627	*97.4229
14	20.6053	31.4574

$$LSCx = \text{Prom } x + Ax.r (\text{Prom } r)$$

$$29.3894 + 2.66 (16.5180)$$

$$29.3894 + 43.9378$$

$$LSCx = 73.3273$$

$$LICx = \text{Prom } x - Ax.r (\text{Prom } r)$$

$$29.3894 - 2.66 (16.5180)$$

$$LICx = 29.3894 - 43.9378$$

$$LICx = 14.5484$$

$$n=2$$

$$Drs = 3.27$$

$$A_x r = 2.66$$

$$D_{ri} = 0$$

$$\text{PROMEDIO } 29.3894 \quad 16.5180$$

$$\sigma nX = 15.6570$$

$$\sigma n \cdot 1x = 10.1034$$

Promedio $x = 29.3894 \pm 15.6570$

LARGO PLAZO

*ESTOS VALORES NO SE TIENEN EN CUENTA PARA EL CONTROL ESTADISTICO

Fig. 21

LIMITES DE CONTROL DEL PROMEDIO DE CONCENTRACIONES DE RADON (TLAHUAC)

LARGO PLAZO

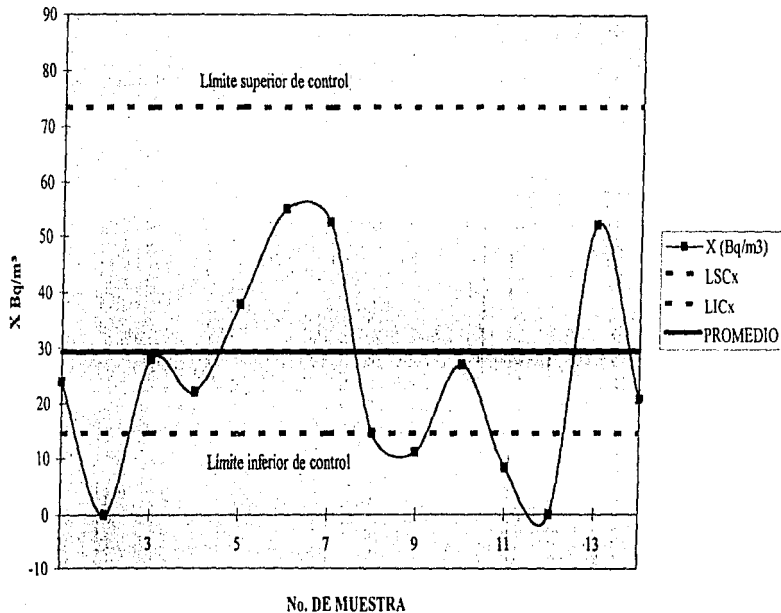


Fig. 22

CORRELACION DE LAS CONCENTRACIONES DE RADON A CORTO Y LARGO PLAZO

TLAHUAC

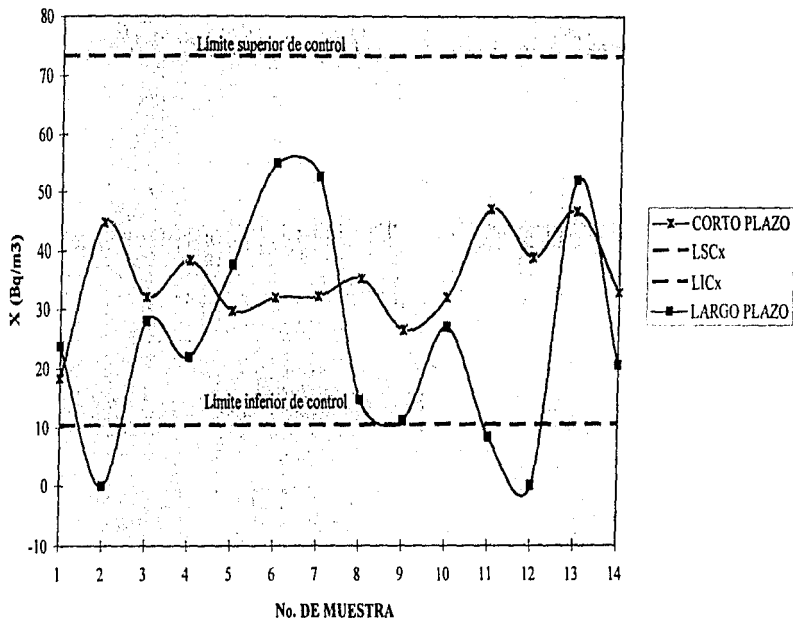


Tabla 20

CALCULO DE LOS LIMITES DE CONTROL

DATO-RANGO (COYOACAN) CORTO PLAZO

E-PERM	X (Bq/m ³)	RANGO
62	38.2483	-
63	45.8544	7.4061
64	33.5823	12.0721
65	39.9808	6.3885
66	49.9259	9.9451
67	58.9094	8.9935
68	31.5666	27.3428
69	47.0354	15.4688
70	31.4972	15.5382
71	32.7663	1.2691
72	32.3981	0.3682
73	40.1571	7.7590
74	46.3397	6.1826

$$LSCx = \text{Prom } x + A_{x,r} (\text{Prom } r)$$

$$40.6201 + 2.66 (9.1334)$$

$$40.6201 + 24.2948$$

$$LSCx = 64.9149$$

$$LICx = \text{Prom } x - A_{x,r} (\text{Prom } r)$$

$$40.6201 - 2.66 (9.1334)$$

$$LICx = 40.6201 - 24.2948$$

$$LICx = 16.3253$$

$$n = 2$$

$$D_{rs} = 3.27$$

$$A_{x,r} = 2.66$$

$$D_{ri} = 0$$

$$\text{PROMEDIO } 40.6201 \quad 9.1334$$

$$\sigma_{nx} = 8.1833$$

$$\sigma_{n-1} x = 8.5175$$

Promedio $x = 40.6201 \pm 8.1833$

CORTO PLAZO

Fig. 23

LIMITES DE CONTROL DEL PROMEDIO DE CONCENTRACIONES DE RADON (COYOACAN)

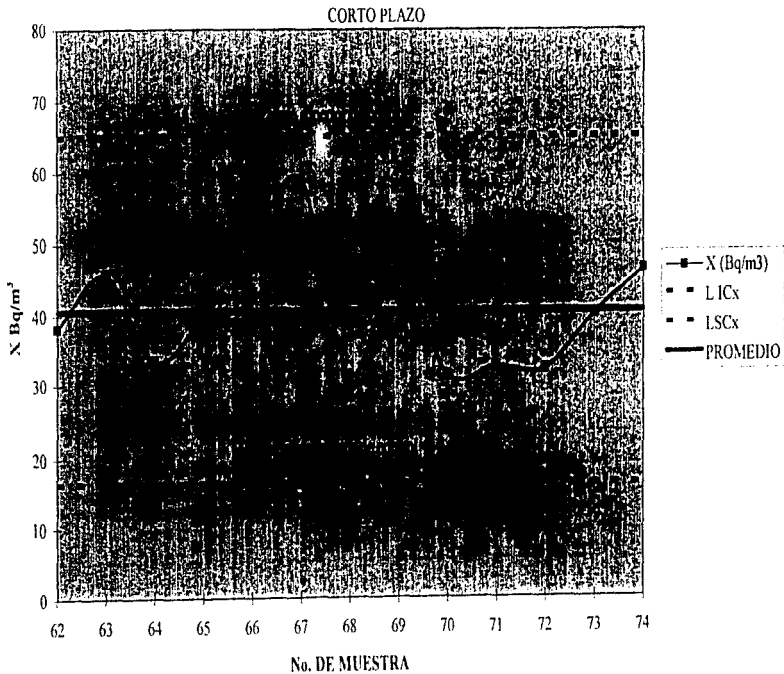


Tabla 21

CALCULOS DE LOS LIMITES DE CONTROL

DATO-RANGO (COYOACAN) LARGO PLAZO

E-PERM	X (Bq/m ³)	RANGO
62	45.7184	-
63	54.5654	8.8470
64	40.1411	14.4243
65	50.7697	10.6286
66	59.6682	8.8985
67	70.4075	10.7393
68	37.7317	32.6758
69	56.2215	18.4898
70	39.5949	16.6286
71	41.1902	1.5953
72	38.7217	2.4685
73	50.4812	11.7595
74	58.8446	8.3634

$$LSCx = \text{Prom } x + A_{x,r} (\text{Prom } r)$$

$$49.5428 + 2.66 (11.1936)$$

$$49.5428 + 29.7749$$

$$LSCx = 79.3177$$

$$LICx = \text{Prom } x - A_{x,r} (\text{Prom } r)$$

$$49.5428 - 2.66 (11.1936)$$

$$LICx = 49.5428 - 29.7749$$

$$LICx = 19.7679$$

$$n = 2$$

$$D_{rs} = 3.27$$

$$A_{x,r} = 2.66$$

$$D_{ri} = 0$$

$$\text{PROMEDIC } 49.5428 \quad 11.1936$$

$$\sigma_{nx} = 9.7070$$

$$\sigma_{n-1} x = 10.1034$$

$$\text{Prom } x = 49.5428 \pm 9.7070$$

LARGO PLAZO

Fig. 24

LIMITES DE CONTROL DEL PROMEDIO DE CONCENTRACION DE RADON (COYOACAN)

LARGO PLAZO

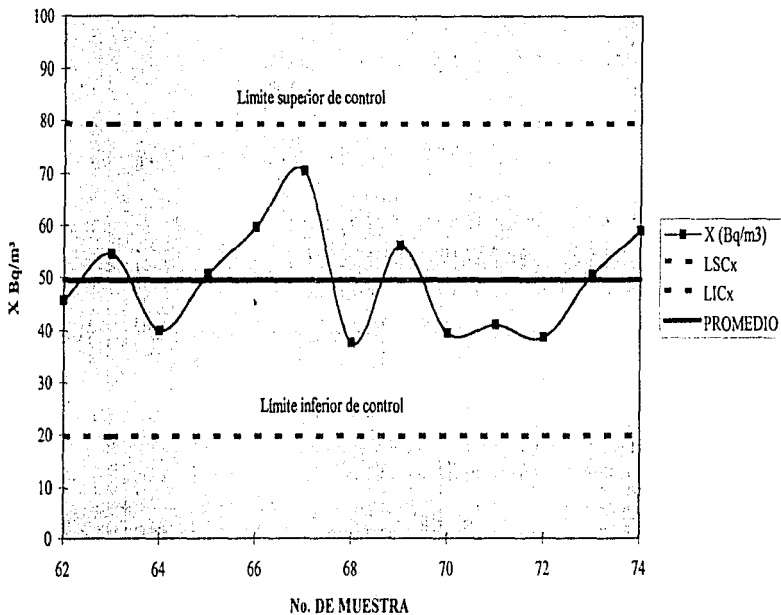
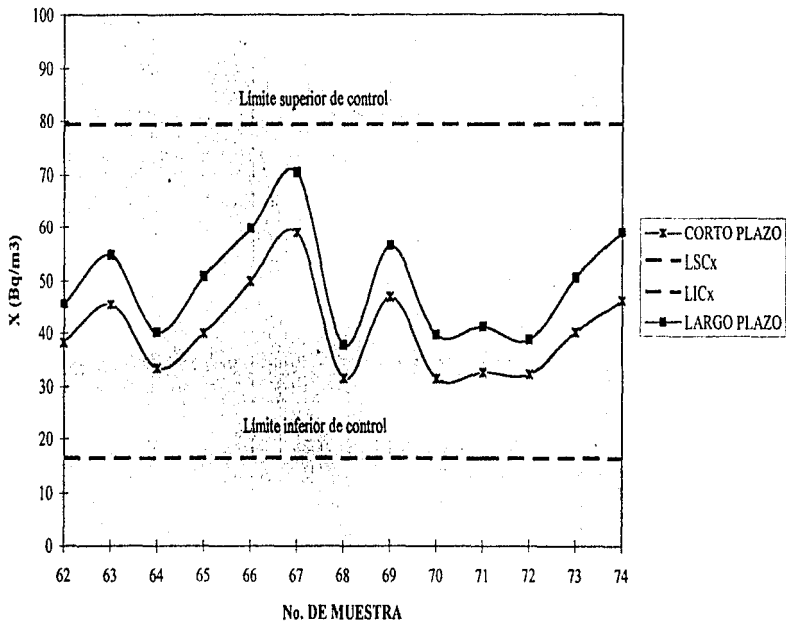


Fig. 25

CORRELACION DE LAS CONCENTRACIONES DE RADON A CORTO Y LARGO PLAZO

COYOACAN



CONCLUSIONES

1.- En la delegación Tláhuac se observa que el 92% de las muestras de radiación gamma se localizan en el rango de 5.20 mR/30 días como máximo y 4 mR/30 días como mínimo, con un promedio de 9.5 μ R/h.

Por lo que hace a Coyoacán, el 84.6 % de las muestras está en el rango de 6.1 mR/30 días como máximo y 4.61 mR/30 días como mínimo, con un promedio de 8.66 μ R/h.

Como se observa en la gráfica de la figura 13, los valores de rapidez gamma en Coyoacán están desplazados a la derecha de los de Tláhuac; esto está relacionado con el tipo de suelo.

2.- De acuerdo con la EPA (Environmental Protection Agency), la dosis de radiación natural por Radón permisible para la población en general es de 0.02 WL (4 pCi/L ó 148 Bq/m³), que se tomó como punto de partida para llegar a las siguientes conclusiones:

2.1.- La concentración promedio de Radón en Coyoacán es más alta en primavera debido a la resequedad de la tierra causada por las temperaturas más altas.

En Tláhuac la concentración más alta se encontró en otoño, probablemente por presencia de inversión térmica.

2.2.- Las concentraciones promedio aritmético anuales son:

1.65 \pm 22.65 % pCi/L para Tláhuac

1.96 \pm 16.47 % pCi/L para Coyoacán

Las anteriores están por debajo de lo establecido por EPA. La mayor concentración anual promedio en Tláhuac la presenta la muestra No.6 con 1.48 pCi/L; y en Coyoacán, la muestra No. 67 con 1.89 pCi/L.

El promedio geométrico anual para ambas delegaciones es 1.27 pCi/L, y el promedio aritmético 1.41 pCi/L, que también se encuentra por debajo de lo establecido por EPA.

2.3.- El error promedio general para las muestras de la delegación Tláhuac es de 22.65 %, mientras que en Coyoacán es de 16.47 %. En general, en este trabajo se encontró que tanto la radiación gamma anual como la concentración anual de Radón es menor en la delegación de Tláhuac que en la de Coyoacán, pero ambos se mantienen dentro de los valores que se consideran normales.

2.4.- El factor de equilibrio determinado en ambos casos, de 0.28 en Coyoacán y 0.4 en Tláhuac, está de acuerdo con las condiciones de tasa de ventilación y dentro de los valores reportados para otros países.

2.5.- Se observa en las figuras 22 y 25 que la ecuación de White de predicción de la concentración anual de Radón, basada en un período de exposición corto, es bastante aceptable (De hecho, los resultados a 3 σ se ajustan bastante bien a la predicción anual), cayendo el 90% de las muestras de Tláhuac dentro del control

estadístico de 3σ , y el 100% en el caso de Coyoacán, con una variación, en general, entre 10 y 80 Bq/m³. Ya que el cálculo de ALAAI se basa, en nuestro caso, en mediciones de corto plazo de descendientes de Radón, que deben convertirse a concentraciones de Radón con el uso del factor de equilibrio, éste último resulta muy importante para el ajuste de los valores.

3.0.- De acuerdo con las conclusiones anteriores, el método empleado (LLT-EPERM) es útil para determinaciones masivas de Radón, pero el error total es alto cuando las concentraciones son bajas, y dependiendo del tiempo de medición, así como de las características propias del electreto. La mínima concentración medible con un 25% de error en 90 días de exposición es de 0.8 pCi/L; y a 50% de error, de 0.3 pCi/L, que es el límite de detección.

Para medidas más exactas, se sugiere utilizar la cámara H, de mayor volumen a la empleada en nuestras mediciones, que con un electreto de corto plazo registra 0.19 pCi/L como mínimo para un periodo de 5 días.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Abu F., Jarad y Sextro, R.G. "Reduction of Radon Progeny Concentration in Ordinary Rooms Due To a Mixing Fan". En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 15, Nos. 1-4, 1988.
- 2.- Azorín, Juan N. "Protección Radiológica II. Dosimetría". En: ININ Serie De Divulgación Técnico-Científica. México, 1988.
- 3.- Beozzo M. Et al. "Measurement of Indoor Radon Levels In The Bologna Metropolitan Area". En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 19, Nos 1-4, 1991.
- 4.- Castren O. "Strategies To Reduce Exposure To Indoor Radon". En: Radiation Protection Dosimetry. Vol. 24, 1988.
- 5.- Doi, Masahiro., y Kobayashi. Sadayoshi. "Vertical Distribution of Outdoor Radon and Thoron in Japan Using a New Discriminative Dosimeter." En: Health Physics. Vol. 67, No. 4, octubre 1994.
- 6.- Doi. Masahiro., y Kobayashi Sadayoshi. "Characterization of Japanese Wooden Houses." En: Health Physics. Vol. 66, No. 3, marzo 1994.

7.- Radon Reference Manual. Editado por la Environment Protection Agency (EPA), Estados Unidos, 1986.

8.- Indoor Radon And Decay Product Measurement Device Protocols. Editado por la Environmental Protection Agency Office Of Radiation Programs. Julio 1992.

9.- Falah A. y Abu-Jarad. "Application Of Nuclear Track Detector For Radon Related Measurements". En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 15, Nos. 1-4. 1988.

10.- Gallardo M., Jiménez R., Loria L., Monnin M., Seidel J.L., Morin J.P. "Assessment Of The Effect Enviromental Factors On Radon Concentration In Soils". En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 19, Nos 1-4. 1991.

11.- Garcia R., J.J. Monitoreo de Radón en Casas Habitación. México, Tesis, Facultad de Química/UNAM, 1994.

12.- Gundersen L., C.S. "The Effect of Rock Type, Grain Size, Sorting, Permeability and Moisture on Measurement Techniques". En: Journal of Radianalytical and Nuclear Chemistry. Vol. 161, No. 2, 1992.

13.- Grasty, R.L. "Summer Outdoor Radon Variations in Canada and Their Relation To Soil Moisture". En: Health Physics. Febrero 1994, Vol. 66, No. 2.

14.- Haque A. K.F. Et al. "Indoor and Underground Radon Activity in The Northern Part on Bangladesh a Preliminary Study". En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 18, No. 3, 1991.

15.- Honbing, Sun. "Monte Carlo Simulation of Radon Emanation From Dry Building Materials". En: Health Physics. abril 1995, Vol. 68, No. 4.

16.- Howard, A.J., Simsarian, J.E., y Strange, W.P. "Measurements of ^{220}Rn Emanation From Rocks". En: Health Physics, diciembre 1995, Vol. 69, No. 6.

17.- INEGI. Cuaderno Estadístico Delegacional. Tláhuac. D.F. México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1995.

18.- INEGI. Cuaderno Estadístico Delegacional. Coyacacán. D.F. México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1995.

19.- Islam G.S., Islam, M.A., Farid, S.M., y Rahman, A. "A Study

- of Radon Activity Inside Some Houses in Bangladesh." En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 15, Nos. 1-4, 1988.
- 20.- Khan, A.J., Vershney, A.K., y Prasad, R. "The Indoor Concentration of Radon and Its Daughters in Multistorey Buildings." En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 13, 1987, No. 1.
- 21.- Khan, A.J., Varshney, A.K., Prasad, Rajendra, Tyagy, R.K., y Ramachandran, T.V. "Calibration of A CR-39 Plastic Track Detector for The Measurement of Radon and Its Daughters in Dwellings." En: Nucl. Tracks Meas. Vol. 17, No. 4, 1990.
- 22.- Kotruppa, P., Demsey, J.C., Ramsey, R.W., y Stieff L.R. "A Practical E-PERM tm (Electret Passive Enviromental Radon Monitor System For Indoor ^{222}Rn Measurement." En: Health Physics Vol. 58, No. 4, abril 1990.
- 23.- Lubomir, Zikovsky. "Determination of Radon Exhalation From Canadian Building Materials With and International Proportional Counter." En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 20, No. 3, 1992.
- 24.- Martínez, Trinidad., Et. al. " Gamma Radiation and Radon Levels in México City Dwellings." En: Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Vol. 193, No. 2, 1995.
- 25.- Martínez Velázquez. U.A. Determinación de Radón en casas

habitación en la zona Oriente de Coyacacán, México, Tesis, Facultad Química/UNAM, 1994.

26.- Man-Yin, W. Tso., Chor-Yi Ng y Leung, John K.C. "Radon Release From Building Materials in Hong Kong." En: Health Physica, Octubre, 1994, Vol. 67, No. 4.

27.- Manual de control estadístico de el proceso Ray-o-Vac de México, México D.F. 1990.

28.- Navarrete, Manuel, y Cabrera, Luis. Introducción al Estudio de los Radionúclidos. México, UNAM/Fac. Química, 1993.

29.- Ramirez, Chávez A. Niveles de Radón y Radiación Ambiental en Interiores en la Zona Habitacional de la Delegación Tláhuac, México, Tesis, UNAM/Facultad de Química, 1994.

30.- Rawat, A., Et al. "Radon exhalation Rate in Building Materials." En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 19, Nos 1-4, 1991.

31.- Segovia N., Seidel, J.L., Monnin M., y Gallé C. "Radon in Soils: Intercomparative Studies." En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 15, Nos. 1-4, 1988.

32.- Surinder, Singh, y Ghuman H.S. "The Measurement of Radon

Emanation Rates From Some Rock Specimens and Building Materials Using Radon Emanometry and LR-115 Plastic Track Detector." En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 15, Nos. 1-4, 1988.

33.- Tamez, E., Et al. "Natural Radioactivity of Building Materials." En: J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters. Vol. 103, No. 4, 1986.

34.- Torri, G., Et al. "Measurements of Soil and Indoor Radon in Italy." En: Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 15, Nos. 1-4, 1988.

35.- Trejo Plascencia, J.C. Monitoreo de Radón en la delegación Gustavo A. Madero y Revisión de Algunos Modelos Simuladores de su Comportamiento. México, Fac. Química/UNAM, 1994.

36.- Vere, Rogers, Et al. "Radon Difusion Coeficients For Residential Concretes." En: Health Physica. Vol. 67, No. 3, septiembre 1994.

37.- White S.B., Et al. "Predicting The Annual Concentration of Indoor ^{222}Rn From One or More Short-Term Measurements." En: Health Physica. Vol. 66, No. 1, enero 1994.

APENDICE A

TABLAS

	pag
1. Radioisótopos. vida media y % de abundancia isotópica	8
2. Temperatura media mensual y anual en (°C) por estación meteorológica	33
3. Precipitación mensual y anual promedio en mm por estación meteorológica	34
4. Ecuaciones de predicción de Radón por temporadas anuales	49
5. Ecuaciones de predicción de Radón entre dos estaciones del año	50
6. Datos de los dosímetros de CaSO ₄ :Dy+PTFE (Tláhuac) exposición en mR/30 días	55
7. Datos de los dosímetros de CaSO ₄ :Dy+PTFE (Coyoacán) exposición en mR/30 días	56
8.- Concentración de Radón (pCi/L) corregida por fondo gamma (9.5µR/h) Tláhuac	59
9.- Concentración de Radón (pCi/L) corregida por fondo gamma (8.66 µR/h) Coyoacán	60
10.- Programa Basic para calcular la concentración de Radón, aplicando la corrección por factor de altura	70
11.- Factor de corrección por altura Tláhuac	71
12.- Factor de corrección por altura Coyoacán	71

13.- Corrección por factor de altura de la concentración de Radón en pCi/L Tláhuac	72
14.- Correlación por factor de altura de la concentración de Radón en pCi/L Coyoacán	73
15.- Programa para calcular el % de error total	82
16.- Corrección por factor de altura de la concentración de Radón en pCi/L \pm % de error para Tláhuac	83
17.- Corrección por factor de altura de la concentración de Radón en pCi/L \pm % de error para Coyoacán	84
18.- Cálculo de los límites de control Dato-Rango (Tláhuac) para corto plazo	88
19.- Cálculo de los límites de control Dato-Rango (Tláhuac) para largo plazo	90
20.- Cálculo de los límites de control Dato-Rango (Coyoacán) corto plazo	93
21.- Cálculo de los límites de control Dato-Rango (Coyoacán) para largo plazo	95

APENDICE B

FIGURAS

	pag
1. Serie del decaimiento del Uranio	9
2. Serie del decaimiento del Torio	10
3. Serie del decaimiento del Actinio	11
4. Lector y electreto de referencia	22
5. Electretos E-PERM (disco de teflón)	21
6. E-PERM Cámara "L"	23
7. Concentración de Radón en casas habitación	45
8. Datos de los dosímetros de CaSO ₄ :Dy+PTFE (Tláhuac)	57
9. Datos de los dosímetros de CaSO ₄ :Dy+PTFE (Coyoacán)	58
10. Distribución de frecuencias de mediciones de radiación gamma en interiores (Verano)	61
11. Distribución de frecuencias de mediciones de radiación gamma en interiores (Otoño)	62
12. Distribución de frecuencias de mediciones de radiación gamma en interiores (Invierno)	63
13. Distribución de frecuencias de mediciones de radiación gamma en interiores (Primavera)	64
14. Distribución de frecuencias de mediciones del promedio anual de radiación gamma en interiores	65
15. Distribución de frecuencias de mediciones de concentración de Radón en interiores en pCi/L (Verano)	74
16. Distribución de frecuencias de mediciones de	

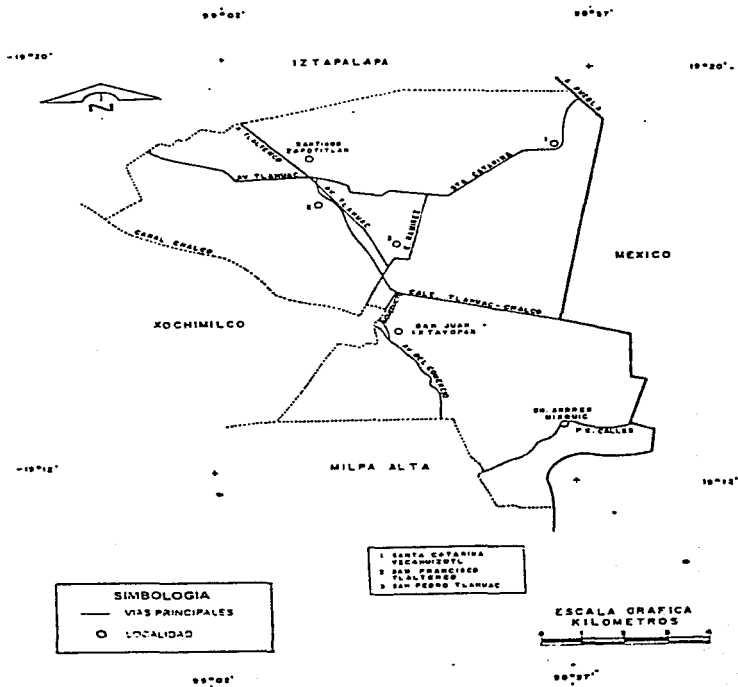
concentración de Radón en interiores en pCi/L (Otoño)	75
17. Distribución de frecuencias de mediciones de concentración de Radón en interiores en pCi/L (Invierno)	76
18. Distribución de frecuencias de mediciones de concentración de Radón en interiores en pCi/L (Primavera)	77
19. Distribución de frecuencias de mediciones de concentración de Radón en interiores en pCi/L (Anual)	78
20. Límites de control del promedio de concentraciones de Radón (Tláhuac) corto plazo	89
21. Límites de control del promedio de concentraciones de Radón (Tláhuac) largo plazo	91
22.- Correlación de las concentraciones de Radón a corto y largo plazo (Tláhuac)	92
23.- Límites de control del promedio de concentraciones de Radón (Coyoacán) corto plazo	94
24.- Límites de control del promedio de concentraciones de Radón (Coyoacán) largo plazo	96
25. Correlación de las concentraciones de Radón a corto y largo plazo (Coyoacán)	97

ANEXO

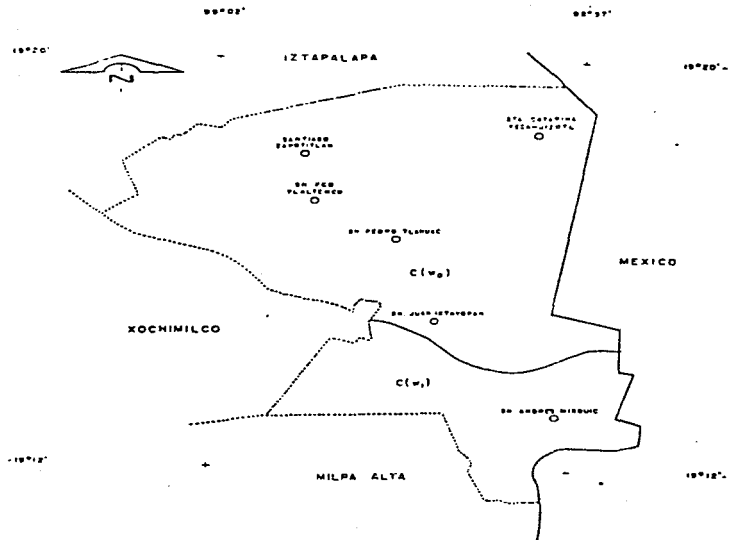
PLANOS

1. Ubicación de la delegación de Tláhuac y sus colindancias
2. Climas que presenta Tláhuac
3. Hidrología de Tláhuac
4. Colocación de los E-PERM Y TLD en la Delegación de Tláhuac
5. Temperaturas que presenta Tláhuac durante el año
6. Curvas de nivel en la Delegación de Tláhuac
7. Estratigrafía del D.F.
8. Ubicación de la Delegación de Coyoacán y sus colindancias
9. Curvas de nivel en la Delegación de Coyoacán
10. Climas que presenta Coyoacán durante el año
11. Temperaturas que presenta Coyoacán durante el año
12. Colocación de los E-PERM Y TLD en la Delegación Coyoacán

PLANO 1



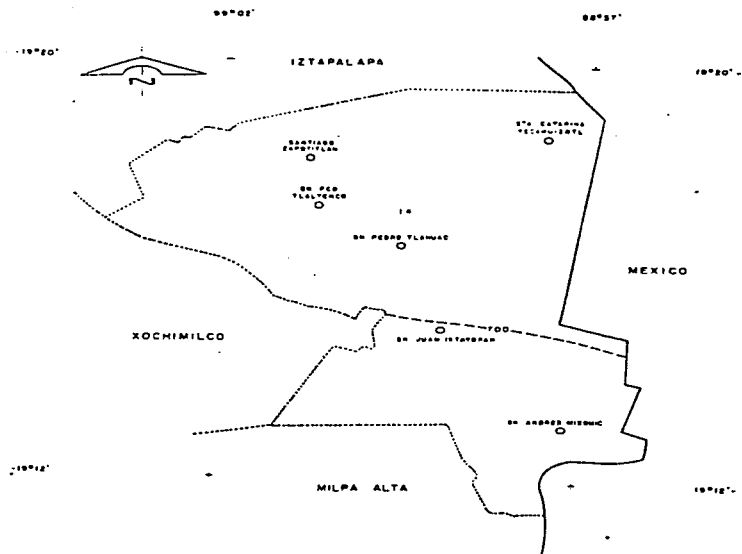
PLANO 2



SIMBOLOGIA	
C (w _n)	MUNICIPIO DE CUICUILCO
○	LOCALIDAD



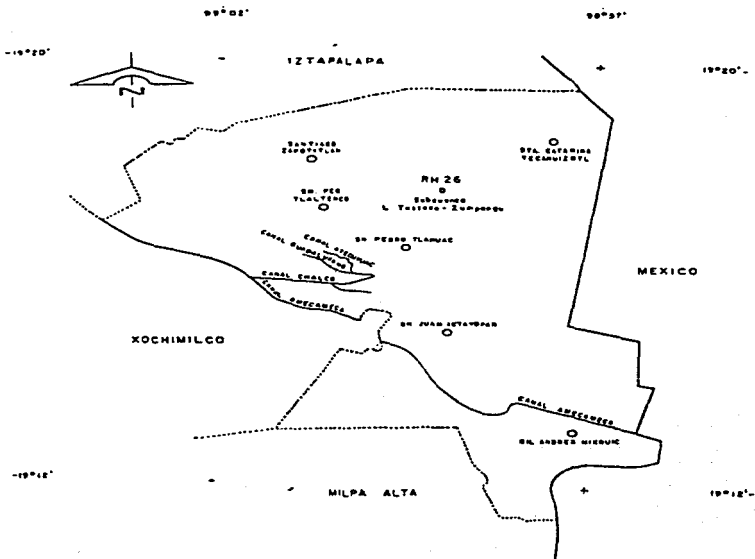
PLANO 3



SIMBOLOGIA	
Δ	TEMPERATURA EN °C
\sim	ISOYETAS EN mm
\circ	LOCALIDAD

ESCALA GRAFICA
KILOMETROS

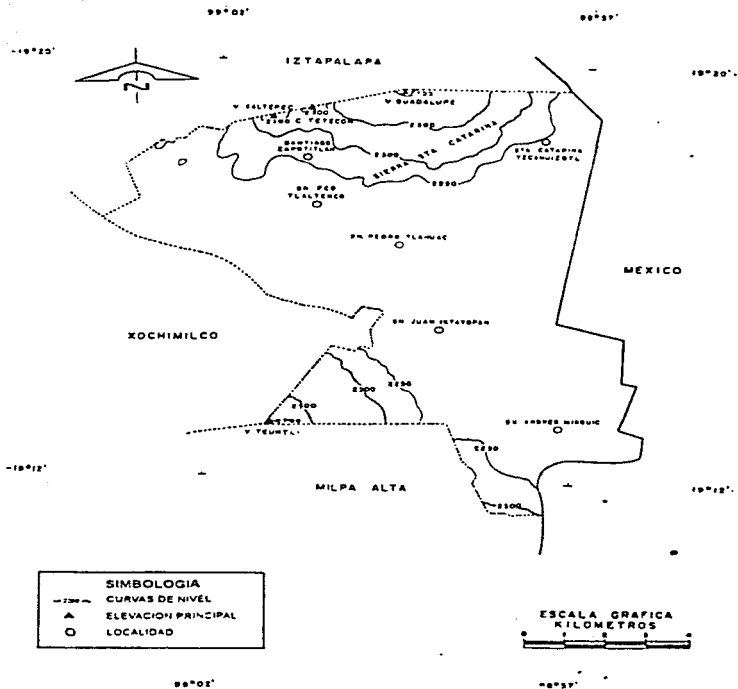
PLANO 4



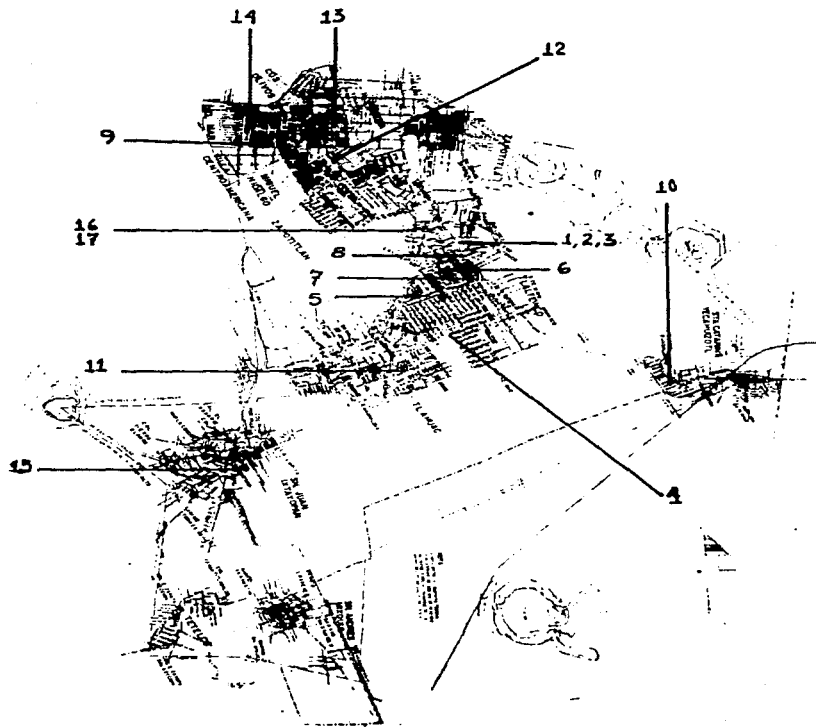
SIMBOLOGIA	
RH 26	REGION HIDROLOGICA
○	CUERNA
~	CORRIENTE DE AGUA
●	LOCALIDAD



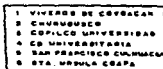
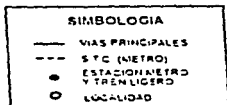
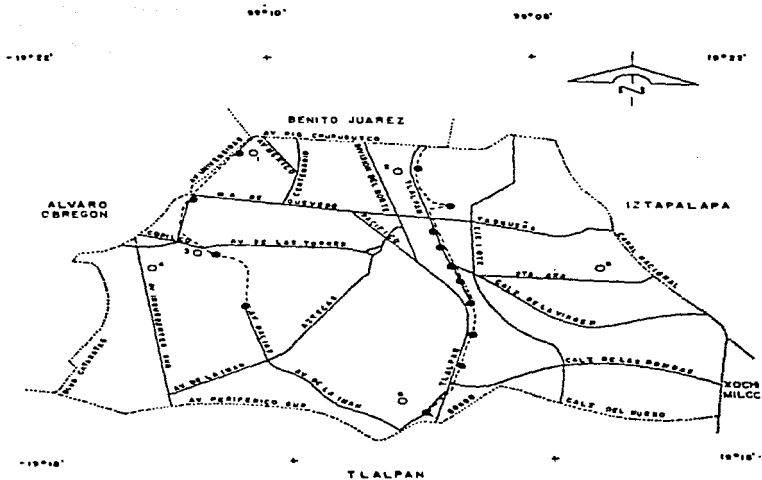
PLANO 5



PLANO 7



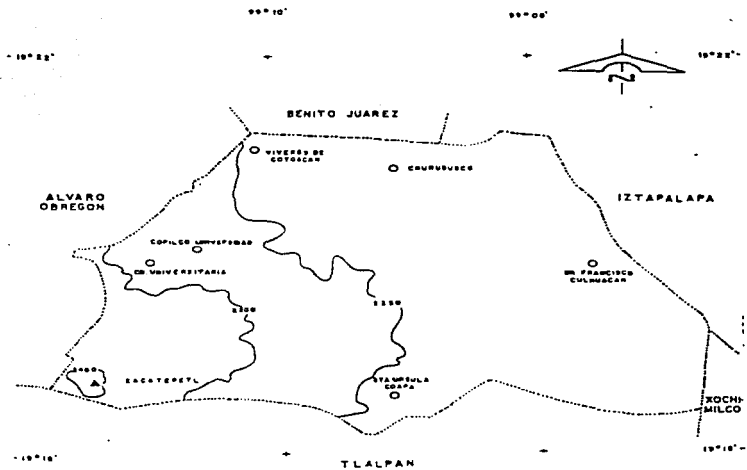
PLANO 8






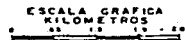
99°10'

99°00'

PLANO 9



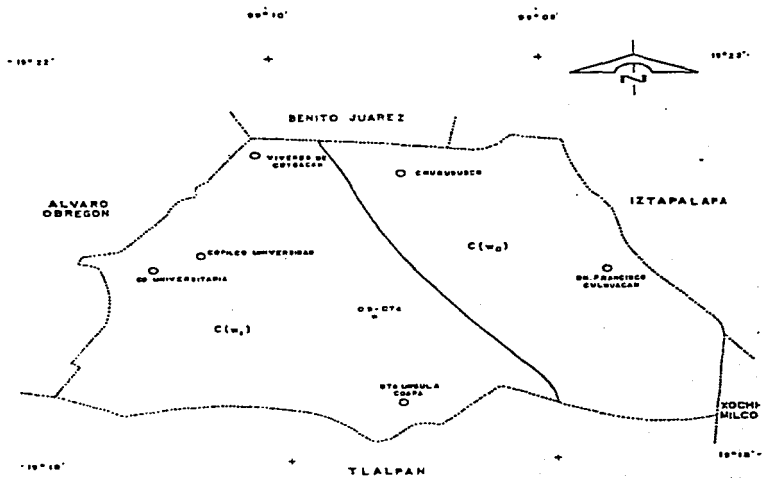
SIMBOLOGIA	
	CURVAS DE NIVEL
	ELEVACION PRINCIPAL
	LOCALIDAD



99° 10'

99° 00'

PLANO 10

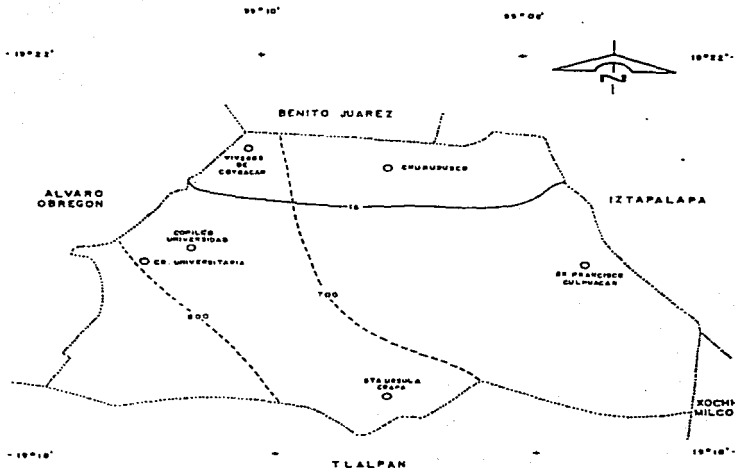


SIMBOLOGIA

- C (w₁) SIMBOLO DE CLIMA
- ESTACION METEOROLOGICA
- 1277 CLAVE DE ESTACION
- LOCALIDAD

ESCALA GRAFICA
KILOMETROS

PLANO 11



SIMBOLOGIA	
- - -	ISOTERMAS EN °C
— — —	ISOJETAS EN mm
○	LOCALIDAD

ESCALA GRAFICA
KILOMETROS

