

2 Epa.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

NIVELES DE RADON Y RADIACION AMBIENTAL EN INTERIORES EN LA ZONA HABITACIONAL DE LA DELEGACION DE TLAHUAC



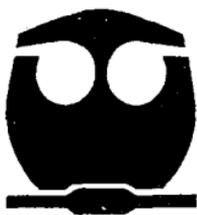
EXAMENES PROFESIONALES FAC. DE QUIMICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A:
ALEJANDRO RAMIREZ CHAVEZ

MEXICO, D.F.

1994

TESIS CON FALLA DE ORIGEN





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 está 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.: 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



FIRMA

SUSTENTANTE.

ALEJANDRO RAMIREZ CHAVEZ



FIRMA

*... el pintor, el poeta, el filósofo especulativo
y el investigador científico se forjan,
cada uno a su manera, una imagen del mundo.
Esta imagen la convierte en centro de gravedad
de su vida emotiva, para encontrar así
tranquilidad y firmeza.*

A. Einstein

**Que bello es hablar con alguien
que en sentido positivo
nos comunica energía,
nos alienta en nuestras luchas,
nos empuja a seguir adelante.
Dios y su reino son para el mundo
y para nosotros hoy,
esa energía radiante
que nos alienta y nos da vida.**

**Interpretación al texto bíblico
Mr 1, 14-19**

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios

Quien es principio y fin de todas las cosas,
por lo que me ha dado y lo que me puede dar

A mis padres

Florentino y Ma. Teresa quienes con su comprensión, apoyo y gran paciencia
formaron en mí, la persona que pueda vencer los obstáculos que se presenten,
a ellos mi admiración

A mis hermanos

Jere, Kili y muy en especial a Pila quien nos mostró que las metas siempre se
logran y quien ahora recorre el camino de la vida en los brazos de Dios

A mis sobrinos

César, Hgel, Mayán y Lihnel por los inmensos momentos de alegría y felicidad
que han compartido conmigo jugando y haciendo travesuras

A mi cuñado

Roberto por su ayuda incondicional siempre en lo familiar y lo deportivo

A mi asesora

M. en C. Trinidad Martínez C. por las enseñanzas que me dio para mi
desarrollo profesional y por su carácter tan jovial

A todo el personal académico y administrativo del laboratorio de Química Nuclear
por las facilidades que me brindaron para la realización de este trabajo

Al J.2. Sergio Parra S. por su asesoría en todo lo relacionado a la
compulsión

A mis amigos y compañeros que compartieron conmigo en el estudio y en la
diversión a lo largo de la licenciatura

A Juan José por transmitirme sus experiencias y ser pionero de estos trabajos

A todas las personas que me facilitaron sus cosas para llevar a cabo esta tesis
Y finalmente a la U.NedM porque es un privilegio formar parte de ella

NIVELES DE RADON Y RADIACION AMBIENTAL EN LA ZONA HABITACIONAL DE
LA DELEGACION DE TLAHUAC

INDICE

	pág
INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
Capítulo 1.- GENERALIDADES	
1.1.- Radiactividad Natural y Radón	4
1.1.1.- Radiación Natural	4
1.1.2.- Radioisótopos Primarios o Primordiales	5
1.1.3.- Radioisótopos Formados por Decaimiento	6
1.1.4.- Radioisótopos Cosmogénicos	6
1.1.5.- Radiación Interna	8
1.1.6.- Radiación Cósmica	8
1.1.7.- Radiación en la Biósfera	9
1.2.- Propiedades del Radón e Isótopos	
1.2.1.- Propiedades Químicas del Radón y de sus Isótopos	11
1.2.2.- Trayectoria de las Partículas Alfa	11
1.2.3.- Alcance de las Partículas Alfa	12
1.2.4.- Series de Decaimiento	13
1.3.- Radiactividad	
1.3.1.- Expresión Matemática	18
1.3.2.- Equilibrio Radiactivo	19
1.4.- Unidades de Radiación	
1.4.1.- Actividad	21
1.4.2.- Dosis de Exposición	21
1.4.3.- Dosis Absorbida	22
1.4.4.- Dosis Equivalente	22
1.4.5.- Dosis Equivalente Efectiva	23
1.4.6.- Niveles de Radón	24

1.5.- Detección de la Radiactividad	pág
1.5.1.- Instrumentos en el Estudio de las Radiaciones	26
1.5.2.- Recolección de Iones Producidos en Gases	26
1.5.3.- Detectores de Centelleo	28
1.5.4.- Detectores Semiconductores	30
1.6.- Técnicas de Detección del Radón	
1.6.1.- Detector de Trazas Alfa	32
1.6.2.- Carbón Activado en Botes	32
1.6.3.- Unidad Muestreadora Integradora de los Descendientes del Radón	33
1.6.4.- Monitor Continuo de Niveles de Trabajo	34
1.6.5.- Muestreo por Grabado	34
1.6.6.- Monitor Continuo de Radón	35
1.6.7.- E-PERM	36
1.7.- Fuentes de Radón en Interiores	
1.7.1.- Radón en la Corteza Terrestre	37
1.7.2.- Radón en Suelos	39
1.7.3.- Características de la Casa	40
1.7.4.- Radón en Agua	42
1.7.5.- Radón en Materiales de Construcción	43
1.7.6.- Niveles de Radón en Diferentes Países	48
1.8.- Dosimetría	
1.8.1.- Aplicaciones	51
1.8.2.- Métodos de Dosimetría	51
1.8.3.- Dosímetro Utilizado	52
1.9.- Seguridad Radiológica	
1.9.1.- Análisis de Riesgo en Seguridad Radiológica	54
1.9.2.- Encuestas Epidemiológicas	55
1.9.3.- Dosimetría Aplicada al Riesgo a la Salud	56
1.9.4.- Riesgo a la Salud	57
1.9.5.- Modelos Lineales de Riesgo	57

Capítulo 2.- PARTE EXPERIMENTAL	pág
2.1.- Método Seleccionado	60
2.1.1.- Descripción del Equipo	61
2.2.- Metodología	61
2.2.1.- Encuesta	62
2.3.- Control de Calidad	
2.3.1.- Control de Calidad Integral	65
2.3.2.- Calibración del Detector y del Flujo de la Bomba	65
2.3.3.- Medición de Blancos	66
2.3.4.- Mediciones por Duplicado	66
2.4.- Delegación Política de Tláhuac	
2.4.1.- Características Geográficas y Climáticas	66
2.4.2.- Hidrografía y Orografía	71
2.4.3.- Estratigrafía	71
Capítulo 3.- RESULTADOS	
3.1.- Costumbres y Hábitos de los Moradores	73
3.1.1.- Características y Tipo de las Casas Habitación	73
3.1.2.- Condiciones de Trabajo del Equipo WLM-1A Resultados Promedio Obtenidos	76
3.2.- Control Estadístico	80
3.2.1.- Calibraciones	93
3.2.2.- Calibración con Fuente	93
3.2.3.- Calibración de Flujo de la Bomba	93
3.3.- Dosimetría Termoluminiscente	
3.3.1.- Resultados	96
CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFIA	100

NIVELES DE RADON Y RADIACION AMBIENTAL EN INTERIORES, DE LA ZONA HABITACIONAL DE LA DELEGACION TLAHUAC

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

La actividad diaria desarrollada por los habitantes en el Distrito Federal, tanto en el trabajo como en sus hogares la realizan en 85 a 90 % en interiores, ya sea en fábricas, oficinas o casas habitación.

Como consecuencia de esta actividad en interiores los habitantes están sometidos a una dosis por radiación ambiental natural cuyo valor depende del tipo de suelo donde se asiente la construcción y del tipo material de construcción empleado; también hay una aportación por agua. Otros factores que afectan la dosis por radiación natural son; la edad así como la dieta que contribuye a la dosis interna del ser humano. Otras fuentes que contribuyen a la dosis son el equipo médico y electrónico y el gas doméstico.

La radiación a la que está expuesta la población en el interior de sus hogares la proporciona en gran parte el radón (^{222}Rn) y sus descendientes (fig.1).

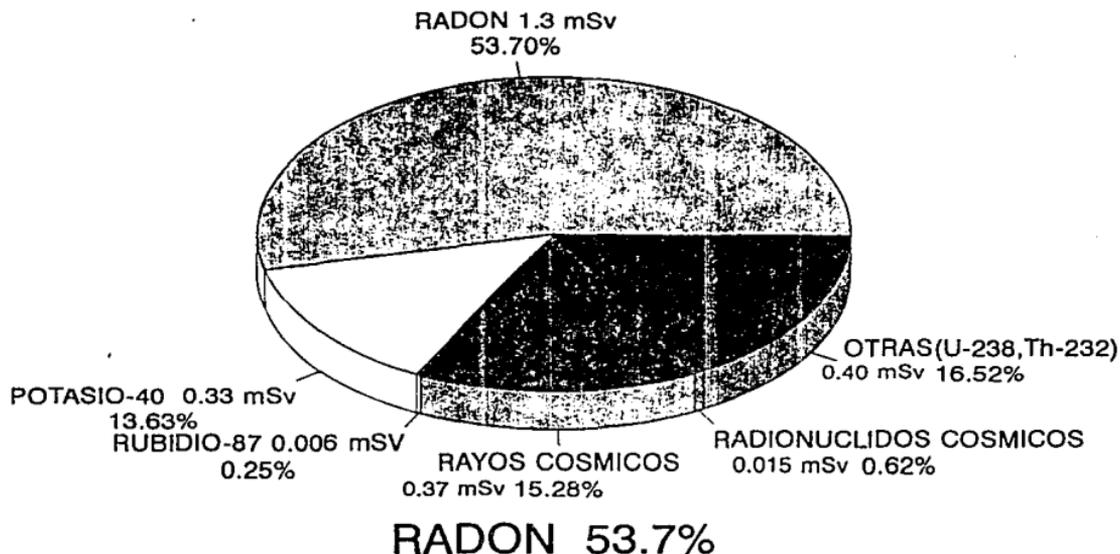
Como las radiaciones nucleares potencialmente pueden producir modificaciones en las células que atraviesan y por lo tanto pueden afectar al desarrollo y la estructura genética del ser humano, por eso es de gran importancia, conocer su origen, su concentración, y dosis que producen.

Como en la mayoría de las construcciones se utilizan materiales de origen natural existentes en la corteza terrestre, éstos contienen en mayor o menor grado dependiendo de su origen y naturaleza, isótopos radiactivos, como los de uranio, torio y sus descendientes, así como ^{40}K .

El radón que es descendiente de estos elementos, se incorpora al aire en el interior de la vivienda mal ventilada, aumentando su concentración y la de sus hijos.

FIG.1 DOSIS ANUAL DE RADIACION INDIVIDUAL

FUENTES NATURALES



TERRESTRES 2.036 mSv (84.1%), COSMICAS 0.385 mSv (15.9%)

Al inhalar radón que es un elemento gaseoso o cualquiera de sus descendientes, éstos se adhieren a las paredes y membranas del sistema respiratorio y al desintegrarse por emisión de partículas alfa o beta producen una dosis principalmente en el epitelio pulmonar; el radón se puede eliminar por exhalación pero sus hijos metálicos que se pueden desintegran dentro del pulmón contribuirán a la dosis de radiación absorbida y pueden producir algún efecto.

En nuestro país hay pocos estudios sobre los materiales de construcción que se emplean con mayor frecuencia en las casas habitación, así como de los recubrimientos interiores más comunes. El material desnudo emite apreciable cantidad de radiaciones alfa y esta se reduce cuando se recubre con yeso, cemento, cierto tipo de pintura y papel tapíz.

Por todo lo anterior el objetivo de este trabajo es monitorear 25 casas habitación seleccionadas en forma aleatoria en la delegación política de Tláhuac, para determinar el nivel de radón a través de sus descendientes. El muestreo se efectuó en condiciones normales de habitación (ventilación natural o artificial, temperatura, en casas con diferentes materiales utilizados en su construcción y en diferentes tipos de suelos, etc.) durante 24 horas con un Monitor Continuo de Niveles de Trabajo (CWLM).

Capítulo 1 GENERALIDADES

1.1 RADIATIVIDAD NATURAL y RADON

1.1.1 Radiación Natural

La radiación natural a la que está expuesta la población proviene de la desintegración de isótopos radiactivos en la corteza terrestre, de la radiación cósmica y de los isótopos radiactivos que forman parte de los seres vivos, también llamada radiación interna. La primera depende del tipo de rocas que existen en el lugar, de la precipitación pluvial en la zona y de la temperatura del medio ambiente (ya sea en invierno o verano); la segunda, de la altura sobre el nivel del mar, y la tercera, de la edad del ser humano y de su dieta. Otras fuentes de radiación que también pueden afectar a la población son las aplicaciones médicas. Desde luego las actividades desarrolladas por el hombre y el uso extenso que se ha dado a la energía nuclear en las últimas cinco décadas, o bien por su estado de vida en recintos cerrados que pueden modificar e incrementar la dosis aportada por la radiación natural.

De los 90 elementos naturales que se encuentran en la tabla periódica, 10 de ellos están formados por isótopos radiactivos exclusivamente (del ^{83}Bi al ^{92}U).

Del hidrógeno con número atómico 1 al plomo con número atómico 82, 18 elementos presentan algún isótopo radiactivo que se encuentra ya sea formando parte de su mezcla isotópica, o aislado en algún otro medio natural como por ejemplo en el agua de lluvia.

Hay elementos como el tecnecio y el prometio que son isótopos radiactivos producidos artificialmente y que nunca se han encontrado en la naturaleza. Los elementos con número atómico del 93 al 105 producidos artificialmente, no cuentan más que con isótopos radiactivos, viniendo a resultar que de los 105 elementos conocidos hasta ahora 90 se encuentran en la naturaleza, 15 son producidos artificialmente y 45 de entre ellas cuentan al menos con un isótopo natural radiactivo. Resulta que los elementos que presentan propiedades radiactivas son el 43% de los elementos conocidos y 30% de los elementos naturales. Las fuentes de radiación natural más importantes son dos: las provenientes del cosmos y los que se encuentran en la biósfera de la tierra.

1.1.2 Radioisótopos Primarios o Primordiales

En la biosfera de la tierra existe un gran número de sustancias radiactivas y se conocen más de 300 isótopos de los elementos naturales. Aproximadamente 60 de éstos son radiactivos y para un mejor estudio se manejan o se clasifican en tres grupos. AL primer grupo se les llama Primordiales o radioisótopos primarios, y comprende a los radioisótopos que forman parte de la mezcla isotópica que comprende un elemento. Estos radioisótopos tienen que ser de vida media muy larga, de 10^8 a 10^{15} años y existen desde la formación de los elementos y la cristalización de los minerales en los que se encontraban cuando la tierra empezó su enfriamiento.

TABLA 1

Isótopos Radiactivos Primordiales. (entre el potasio y bismuto)
que entran en la mezcla isotópica de los elementos.

RADIOISOTOPO	VIDA MEDIA años	ABUNDANCIA ISOTOPICA %
^{40}K	1.3 E9	0.0118
^{50}V	6.0 E15	0.24
^{87}Rb	4.7 E10	27.85
^{113}Cd	9.0 E10	12.30
^{115}In	6.0 E14	95.72
^{123}Te	1.24 E13	0.87
^{138}La	1.3 E11	0.089
^{144}Nd	2.1 E15	23.85
^{147}Sm	1.1 E11	15.0

^{148}Sm	7.0 E15	11.20
^{152}Gd	1.1 E14	0.20
^{156}Dy	2.0 E14	0.06
^{176}Lu	3.0 E10	2.60
^{174}Hf	2.0 E15	0.18
^{187}Re	5.0 E10	62.60
^{186}Os	2.0 E15	1.60
^{190}Pt	6.0 E11	0.0127
^{209}Bi	>2.0 E18	100.0

F. B. #3d

1.1.3 Radioisótopos Formados por Decaimiento

El segundo grupo de radioisótopos naturales comprende aquellos que se forman por el decaimiento de otro radioisótopo, es decir, tienen origen radiogénico y existen tres cadenas radiactivas naturales y la encabezan el ^{232}Th , el ^{238}U y el ^{235}U (ver figuras 2, 3 y 4).

1.1.4 Radioisótopos Cosmogénicos

El tercer grupo lo forman los radioisótopos cosmogénicos producidos de manera continua en las reacciones nucleares, causadas por la radiación cósmica al incidir sobre la atmósfera, y ejemplo de ellos son ^3H y el ^{14}C producidos por la interacción de neutrones de la radiación cósmica con el nitrógeno del aire; ^{14}N (n rápidos, ^3H) ^{12}C y ^{14}N (n lentos, p) ^{14}C .

El ^3H y el ^{14}C se precipitan en la tierra con la lluvia y entran a formar parte del hidrógeno elemental y el carbono orgánico respectivamente.

TABLA 2

Isótopos Radiactivos de los elementos encontrados en el agua de lluvia (cosmogénicos).

RADIOISÓTOPO	VIDA MEDIA	VELOCIDAD DE PRODUCCION (en la atmósfera) nucleos/ m ² s
³ H	12.33 años	2500
⁷ Be	53.4 días	81
¹⁰ Be	1.6 E6 años	360
¹⁴ C	5736 años	22000
²² Na	2.6 años	0.6
²⁶ Al	7.16 E6 años	1.7
³² Si	280 años	
³² P	14.3 días	
³³ P	25.3 días	
³⁵ S	87.5 días	
³⁶ Cl	3 E5 años	14
³⁹ Ar	269 años	11

F. B. #36

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), recomienda en sus publicaciones¹⁹ para la población en general no recibir más del límite para el equivalente de dosis anual por irradiación uniforme del cuerpo entero de 5 mSv (0.5 rem); y para los trabajadores que se encuentran expuestos a ella, el

límite del equivalente de dosis anual es de 50 msv (5 rem). Se ha reportado en la bibliografía (fig.1) que la población en general recibe de las fuentes naturales la más alta contribución a la dosis media anual y es de aproximadamente de 2.4 msv (0.24 rem).

1.1.5 Radiación Interna

La radiación Interna proviene de las sustancias radiactivas presentes en los alimentos, en el agua, y en el aire que al ser ingeridas o inhaladas se absorben en los tejidos vivos. Los principales isótopos radiactivos que contiene el cuerpo humano son; el potasio-40, carbono-14 y el tritio, pero también se pueden encontrar cantidades menores de elementos pesados como el radio-226, plomo-210 o el uranio. En comparación con las exposiciones al radón, su aporte al nivel de dosis media anual resulta muy pequeña. Debido a que la ingestión del potasio-40 es controlada homeostáticamente por el organismo, la escala de variabilidad es baja. Por el contrario, los hábitos dietéticos pueden influir en las exposiciones internas al plomo-210 y al polonio-210. Respecto al uranio, estudios recientes sobre su concentración en la sangre en diferentes poblaciones, muestran que ciertos padecimientos como la leucemia, afectan su eliminación en el ser humano, aumentando de esta manera la concentración de ese elemento en el torrente sanguíneo de los pacientes que padecen esa enfermedad.

1.1.6 Radiación Cósmica

Los niveles de rayos cósmicos son relativamente estables en la superficie de la tierra, pero se ven afectados por el campo magnético de la misma, y por tanto las regiones polares reciben más rayos cósmicos que las zonas ecuatoriales; con respecto a la altitud con relación al nivel del mar aumenta notablemente casi duplicándose cada 1500 metros. En la ciudad de México que se encuentra aproximadamente a una altura de 2300 metros sobre el nivel del mar, la dosis media anual es casi 3 veces mayor que la que reciben los pobladores en las regiones costeras y que es aproximadamente de 0.4 msv, siendo para los habitantes del D.F. un

valor de dosis media anual aproximada de 1.2 msv o más. La radiación cósmica primaria originada en el espacio exterior, contribuye a la radiactividad de la atmósfera: el 80% está constituida de protones y el 20% de partículas α de energía muy elevada; a su paso a través de la atmósfera, esta radiación interactúa con los núcleos de nitrógeno y oxígeno, etc. presentes en esta, originando radiaciones gamma (γ), electrones, neutrones, mesones y otras partículas energéticas cuyo conjunto constituye la radiación cósmica secundaria.

1.1.7 Radiación en la Biósfera

En cuanto a las fuentes que se encuentran en la biósfera de la tierra o en la corteza terrestre, los niveles son variados dependiendo de la concentración de radioisótopos naturales que se encuentre en materiales tales como rocas, suelos, agua, aire, alimentos, e incluso el cuerpo humano. La mayoría de las radiaciones de origen terrestre, se encuentran distribuidas en forma bastante uniforme. Aquellos que provienen de la corteza terrestre son básicamente los isótopos del radón, siendo gases se incorporan a la atmósfera.

Existen datos a nivel mundial sobre el radón ambiental que nos indican que se encuentra en concentraciones de 70 pci/m^3 sobre la superficie de los continentes y de 5 pci/m^3 a nivel del mar.

Otros fenómenos naturales como las erupciones volcánicas pueden arrastrar hacia la atmósfera grandes cantidades de gases radiactivos, que incrementan el nivel de radón proveniente del magma. Los gases se incorporan a la atmósfera y se dispersan en menor o mayor grado dependiendo de las condiciones meteorológicas imperantes en el lugar; al difundirse en el aire el radón se desintegra originando así una serie de descendientes sólidos, también radiactivos, que se fijan en los aerosoles suspendidos en la atmósfera.

Las fuentes terrestres más importantes son el potasio-40, el rubidio-87 y las dos series de elementos radiactivos provenientes de la desintegración del uranio-238 y el torio-232. La serie del uranio-235 tiene escaso efecto en la dosis total.

En el aire exterior, las concentraciones de radón como ya se

mencionó son menores a 1 pci/l y pueden variar por abajo de 0.5 pci/l.

Concentraciones más altas de radón en el exterior pueden ser encontradas durante períodos breves, ejemplos durante una inversión térmica, donde una masa de aire caliente es atrapada en medio de las capas de masa de aire frío; se han encontrados aisladamente niveles de radón por arriba de 4 pci/l. Las concentraciones en interiores pueden variar desde alrededor de 0.5 pci/l a más de 2000 pci/l y con los pocos datos que se tienen el valor promedio puede variar desde 1 a 2 pci/l.

También influyen en los niveles de radón la estación del año en que se mida, por ejemplo en el D.F. de los pocos estudios⁴⁶ que se han hecho indican que los niveles de radón en Primavera es 31% más alto respecto a Verano-Otoño. Este comportamiento temporal puede deberse a que en el periodo de Primavera (de Marzo a Junio), la temperatura es más alta y hay menos precipitación pluvial que en Verano-Otoño (Julio-October), y a que también la contaminación disminuye debido al temporal de lluvias.

1.2 PROPIEDADES DEL RADON e ISOTOPOS

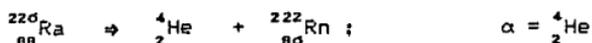
1.2.1 Propiedades Químicas del Radón y de sus Isótopos

El estudio del radón es un microcosmos en el campo de la Química nuclear, se le puede estudiar en la tierra, en el agua y en el aire. Es un gas incoloro, inodoro, radiactivo y es un emisor de partículas α . El radón es moderadamente soluble en agua y puede ser absorbido en rocas y arenas.

Su solubilidad depende de la temperatura del agua: entre más fría mayor será su solubilidad. El coeficiente de solubilidad del radón se define como la proporción entre la concentración del radón en agua y su concentración en aire. En agua caliente a cierta temperatura el radón es liberado y por lo tanto su coeficiente de solubilidad es más bajo.

El valor de 0.5 es el coeficiente máximo de solubilidad a una temperatura del agua cercana a los 0°C, decreciendo exponencialmente a medida que la temperatura del agua baja. El radón (^{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 emisión de una partícula α 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, constituyendo todo esto la partícula α emitida.

En un gramo de radio cada segundo se transforman $3.7 * 10^7$ átomos de Ra en átomos de radón.



1.2.2 Trayectoria de las Partículas Alfa

Debido a que las partículas α consisten en la asociación de 2 protones y 2 neutrones, resultan extremadamente pesadas y grandes en relación a los otros tipos de radiación nuclear. Por lo tanto una partícula α incide sobre un electrón, lo despide fuera del átomo sin que su trayectoria sea modificada, y la trayectoria de

la partícula α es muy corta, debido a que por su tamaño y peso, su ionización específica es muy grande, o sea que entregan su energía en gran número de colisiones durante un corto trayecto.

La desintegración por emisión de partículas α , ocurre solamente (hay excepciones) entre elementos de número de masa mayor a 200.

1.2.3 Alcance de las Partículas Alfa

Las partículas α pueden atravesar un cierto espesor de materia antes de perder toda su energía y la distancia o alcance de estas partículas α con energía de 3 Mev, tendrá un alcance de 1.6 cm en aire y será detenida por una hoja de aluminio con un espesor de 0.015 mm aproximadamente.

Esta energía puede ser determinada en un laboratorio al obtenerse la distancia recorrida y consiste en verificar la absorción de las partículas en espesores conocidos de materia.

Las partículas α tienen la misma energía para un emisor dado y solo pueden recorrer trayectorias muy cortas.

Una expresión matemática que muestra el alcance de las partículas α viajando en aire en función de su energías 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 α en Mev

Otra expresión para otros materiales es la siguiente:

$$A_m = 0.519 E^{3/2}$$

donde A es el alcance en cualquier absorbedor, en unidades de espesor másico en mg/cm^2

E es la energía de la partícula α en Mev

La unidad de espesor másico mg/cm^2 es comunmente empleada en medidas de alcance y energía, se obtiene multiplicando el espesor lineal por la densidad de un material absorbedor dado, de modo que el alcance de las partículas α y β^- pueda ser expresado en unidades de espesor másico, con valores fijos para una energía

determinada, y no solamente como espesores medidos con unidades de longitud en un material específico.

1.2.4 Series de Decaimiento

Existen tres series radiactivas que dan lugar cada uno a un isótopo gaseoso de radón, todos los cuales se incorporan a la atmósfera; estos gases radiactivos son el ^{220}Rn , ^{222}Rn y el ^{219}Rn . Las series están encabezadas por ^{232}Th , ^{238}U , y el ^{235}U y terminan respectivamente con los isótopos estables ^{208}Pb , ^{206}Pb y ^{207}Pb . Debido a que los números de masa A de todos los miembros de estas series pueden reemplazarse respectivamente por las expresiones algebraicas $4n$, $4n+2$, $4n+3$, donde n es un número entero, son denominadas también por estas mismas expresiones.

El radón (^{222}Rn) que es un gas radiactivo puede migrar bajo diferentes condiciones; la migración o flujo está fundamentalmente en función de su vida media, la permeabilidad del suelo, y de los factores geológicos, meteorológicos y estructurales (fig.2). Su vida media es de 3.824 días y esta no le permite transportarse por difusión a grandes distancias; sin embargo este valor es lo suficientemente grande que le permite una emanación parcial desde los materiales de construcción y desde el suelo, y que le permite el transporte convectivo y migración hasta algunos metros de distancia.

EL radón presenta las siguientes propiedades:

$$\begin{aligned} T_c &= 104 \text{ }^\circ\text{C}, & P_c &= 62 \text{ atm}, & P_{ob} &= -61.8 \text{ }^\circ\text{C} \\ P_{cong} &= -77 \text{ }^\circ\text{C}, & \delta &= 10 \text{ } \delta_{\text{aire}} \end{aligned}$$

El radio (^{226}Ra) que antecede al radón tiene una vida media de 1600 años, este tiempo le permite una distribución muy amplia en la tierra ya que se difunde a través de los poros del suelo o al ser transportado por el agua, antes de decaer.

El torón (^{220}Rn) tiene una vida media de 55.6 segundos, que es mucho más corta que la del ^{222}Rn , pero es el más abundante de los tres isótopos de origen natural y su vida media es suficiente para permitirle la emanación desde los materiales de construcción, así

PESO ATOMICO

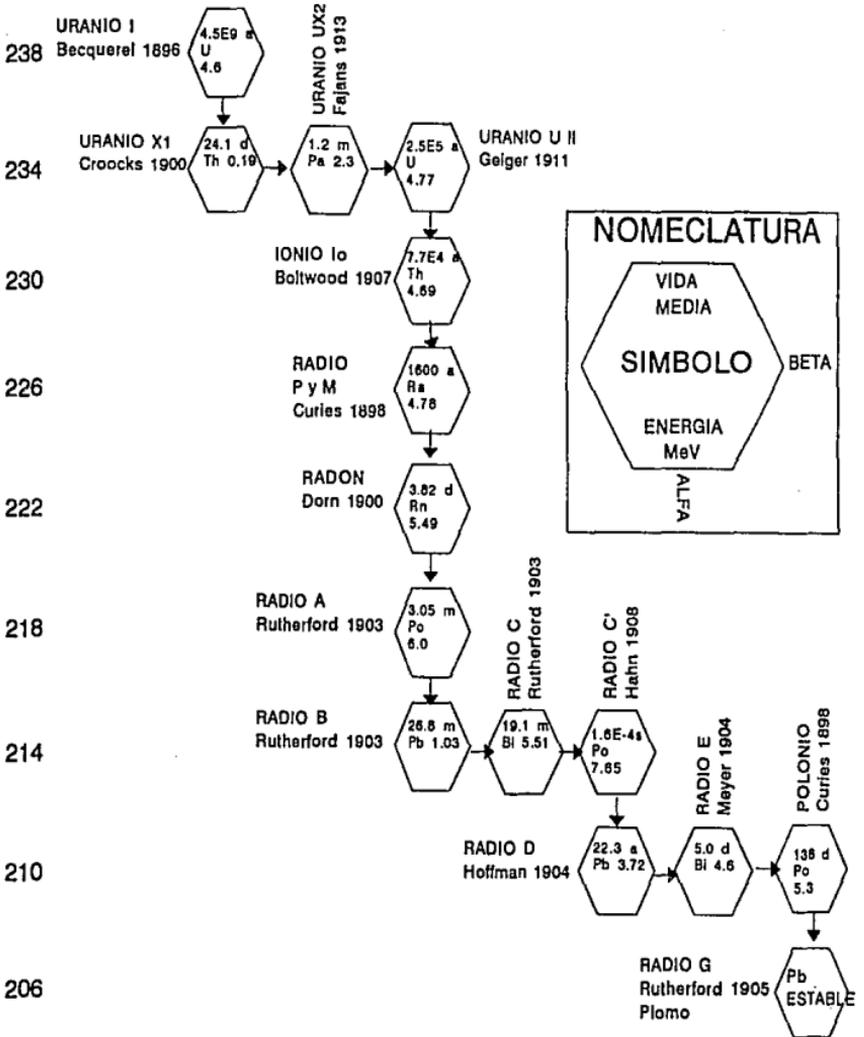


Fig.2 SERIE DE DECAIMIENTO DEL URANIO
4n+2

F.B. #58

PESO ATOMICO

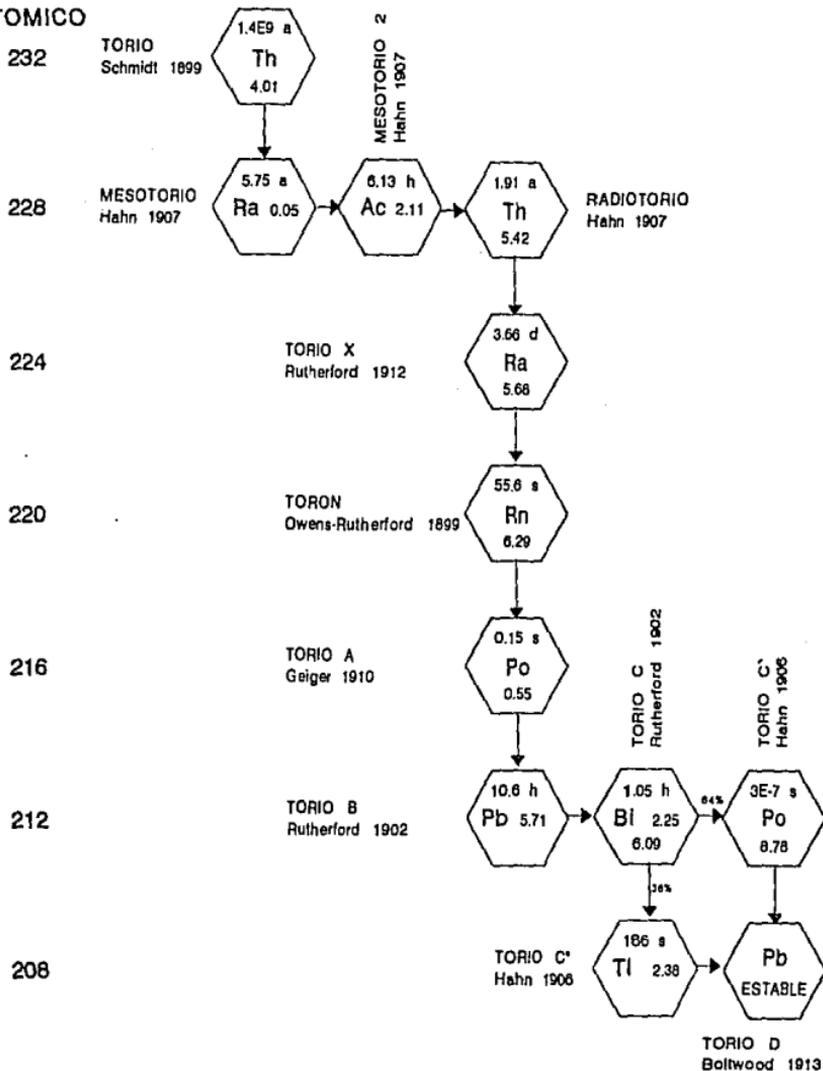


FIG 3 SERIE DE DECAIMIENTO DEL TORIO
4n+0

F.B. #58

PESO
ATOMICO

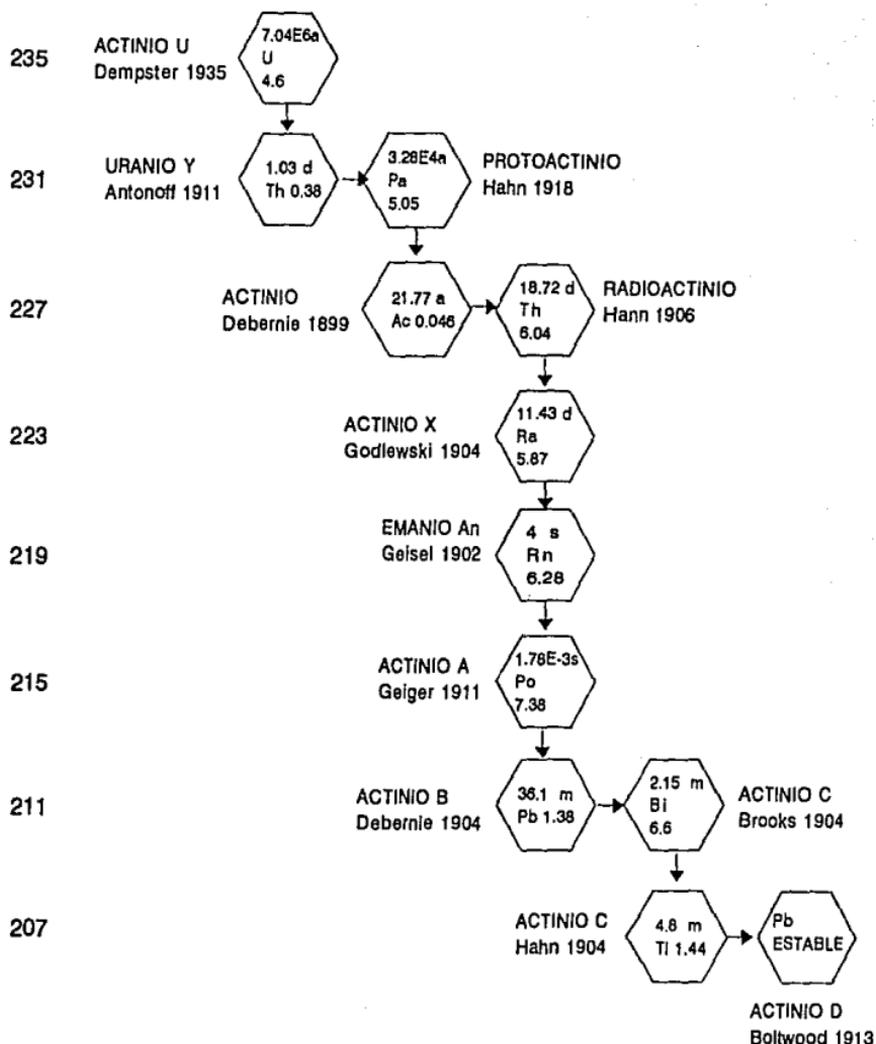


Fig.4 SERIE DE DECAIMIENTO DEL ACTINIO
4n+3 .

F.B. #58

como su infiltración desde el suelo, pero sólo a algunos centímetros de distancia (fig.3).

La vida media del actinón (^{219}Rn) es mucho más corta, 3.96 segundos (fig.4) y la distancia que recorre se restringe sólo a algunos milímetros, por lo tanto el ^{219}Rn no alcanza a llegar a la superficie, de donde se puede concluir que la concentración de ^{220}Rn y ^{219}Rn en el aire son despreciables si se compara con la de ^{222}Rn .

1.3 RADIATIVIDAD

1.3.1 Expresión Matemática

El decaimiento de un isótopo radiactivo (radionúclido) puede ser descrito matemáticamente por la siguiente ecuación.

$$dN = -\lambda N dt$$
$$dN/dt = -\lambda N$$

desarrollando la ecuación fundamental llegamos a la siguiente expresión:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

- donde, N_0 es la cantidad inicial del radionúclido
 N es la cantidad remanente después de un período de tiempo "t"
 λ es la constante de decaimiento, característica para cada especie radiactiva

Si se define la actividad como el número de radionúclidos que decae por unidad de tiempo:

$$A = dN/dt$$

La expresión matemática de la ley de decaimiento radiactivo será:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

- donde, A_0 es la actividad radiactiva inicial
 A es la actividad remanente después de un período de tiempo "t"

Cada isótopo radiactivo emite un tipo de radiación característica con energía también característica y gracias a que esta radiación es siempre la misma, se pueden identificar los átomos que la emiten.

Otro parámetro que permite la identificación es cuando un núcleo atómico inestable sufre una transformación espontánea, emite radiaciones ya sea en forma de partículas o radiaciones

electromagnéticas, y se transforma o decae en otro elemento que puede o no ser radiactivo y al tiempo requerido para que una especie radiactiva determinada disminuya a la mitad su actividad se le conoce como período de semidesintegración ó comúnmente como vida media " $t_{1/2}$ ".

Cuando la actividad, no importa cual sea su nivel a un tiempo dado (t_0), alcanza un valor igual a la mitad del inicial después de transcurrido el tiempo de vida media, tendremos:

$$A/A_0 = 1/2 = e^{-\lambda t_{1/2}}$$

desarrollando la ecuación obtenemos que la vida media para cualquier radionúclido es:

$$t_{1/2} = 0.693/\lambda$$

1.3.2 Equilibrio Radiactivo

En las series de decaimiento se presenta que los descendientes al igual que los padres son radiactivos, los padres presentarán una velocidad de decaimiento y los hijos una velocidad de formación. EL hijo empezará a crecer debido al decaimiento del padre hasta llegar a que ambas velocidades son iguales, pero llegará el momento en que el hijo también empiece a decaer llegando a un equilibrio al paso del tiempo; el hijo tendrá una velocidad de formación igual a su velocidad de decaimiento:

$$\begin{aligned} + dN_2/dt &= N_1\lambda_1 && \text{velocidad de formación (hijo)} \\ - dN_2/dt &= N_2\lambda_2 && \text{velocidad de decaimiento (hijo)} \end{aligned}$$

Cuando la velocidad de decaimiento del hijo llega a tener el mismo valor que su velocidad de formación, la cual es la misma que la velocidad de decaimiento del padre y en consecuencia las actividades del padre e hijo son iguales.

$$N_1\lambda_1 = N_2\lambda_2$$

$$N_1/N_2 = \lambda_2/\lambda_1 = t_{1/2}(\text{padre})/t_{1/2}(\text{hijo})$$

Cuando la vida media del padre es muy grande comparada con la de su hijo, la actividad del padre es prácticamente constante durante el tiempo en el que la actividad del hijo puede decaer muchas veces, de manera que la velocidad de formación del hijo resulta constante. Cuando éste es el caso se establece un equilibrio radiactivo que se conoce como "equilibrio secular".

Cuando la vida media del padre es más larga que la del hijo, pero no tan grande que el decaimiento del padre no pueda ser tomada como constante durante el crecimiento de la actividad del hijo, se alcanza un estado de equilibrio radiactivo conocido como "equilibrio transitorio".

Cuando un padre tiene una vida media más corta que la del hijo, nunca están en equilibrio.

1.4 UNIDADES DE RADIACION

1.4.1 Actividad

Las transformaciones por unidad de tiempo son tradicionalmente medidos por una unidad de actividad llamada " Curie " (Ci) en honor de Marie y Pierre Curie, los descubridores del radio y el polonio. Un Curie son 3.7×10^{10} transformaciones en cada segundo, que es una unidad bastante grande. Los niveles de medición de materiales radiactivos se dan en pico Curies (pCi), la billonésima parte de un Curie.

$$1 \text{ pCi} = 1 \times 10^{-12} \text{ Ci}$$

En el sistema internacional (SI), la unidad de actividad es el " Becquerel " (Bq) y equivale a una transformación en cada segundo.

$$1 \text{ pCi} = 0.037 \text{ Bq}$$

El radón algunas veces es medido en pci por litro de aire ó bq de radón por litro de aire cuando se trata de gases o de aire y cuando se trata de sólidos en pci de radón por gramo ó bq de radón por gramo.

1.4.2 Dosis de Exposición

El término " dosis ", designa a la cantidad de energía de radiación absorbida por un medio. Aunque los términos "dosis" o "dosis de radiación" se emplean en sentido general, se debe precisar si se trata, por ejemplo, de la dosis absorbida, dosis equivalente, dosis equivalente efectiva, dosis media anual etc.

El " Roentgen " (R) en una unidad de dosis de exposición y está referido únicamente a radiación electromagnética y se define como la intensidad de radiación X ó γ capaz de producir 1 unidad de cantidad de electricidad de cualquier signo en 1.293×10^{-9} g de aire, o sea 1 cm^3 de aire en condiciones normales de temperatura y presión, lo cual es equivalente a la absorción de 87.7 ergios por cada gramo de aire.

El R no está definido para radiaciones de partículas y se limita a medir la intensidad de radiación en un espacio dado.

La Oficina Internacional de Pesas y Medidas propuso como unidad

de intensidad de radiación al columbin por kilogramo (C/Kg) y se define como la intensidad de radiación X ó γ capaz de producir un columbio de carga electrostática de cualquier signo por kilogramo de aire.

$$1 \text{ C/Kg} = 3876 \text{ R}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/Kg}$$

1.4.3 Dosis Absorbida

Para cuantificar la cantidad o dosis de radiación que pasa a través de la materia se utiliza el concepto de "rad" y un rad se define como la cantidad de radiación que deposita una cantidad de energía de 100 ergios por cada gramo de cualquier material absorbente.

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ ergios/g} = 10^{-2} \text{ Joules /Kg}$$

Sin embargo estas unidades de medida no son las más representativas del daño biológico producido por la radiación, debido a que dosis iguales de diferentes tipos de radiación producen diferente cantidad de daño.

También se ha propuesto como una nueva unidad de dosis absorbida al "gray" (Gy) y se define como la cantidad de radiación absorbida que disipa un Julio de energía por kilogramo de material.

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rads}$$

1.4.4 Dosis Equivalente

El "rem" (Roentgen equivalent man) es la unidad para medir el daño biológico y relaciona los efectos producidos por cualquier radiación ionizante al tejido humano, en base a los efectos producidos por la exposición a un roentgen de radiación electromagnética. El rem se define como el daño biológico causado cuando es absorbido 1 rad de radiación γ , de modo que el daño originado por cualquier otro tipo de radiación es igual al producto de la dosis absorbida en rads por el valor característico de la efectividad biológica relativa (EBR) o el factor de calidad (QF).

$$\text{rem} = \text{rad} * \text{EBR}$$

donde:	EBR	Tipo de radiación
	1	Rayos X ó γ
	1	Partículas β^- ó β^+
	20	Partículas α
	5-10	Neutrones lentos
	3-10	Neutrones rápidos
	1-10	Protones

Para un campo de radiaciones mezcladas, la dosis total en rem es igual a la suma de los productos de EBR de cada tipo de radiación por la dosis absorbida en rad de esa radiación específica.

1.4.5 Dosis Equivalente Efectiva

La dosis equivalente efectiva " H_E " (en términos generales) se define por la siguiente expresión:

$$H_E = \sum W_T H_T$$

donde H_T es la dosis equivalente media en el tejido T

W_T es un factor de ponderación entre la pérdida parcial de la salud debido a efectos estocásticos resultantes de la irradiación del tejido T y la pérdida total de la salud debido a los efectos estocásticos cuando el cuerpo humano es irradiado uniformemente.

Los valores de W_T especificados por la ICRP son:

TEJIDO	W_T
Gónadas	0.25
Mama	0.15
Médula Osea	0.12
Pulmón	0.12
Tiroides	0.03
Superficies Oseas	0.03
Organos y Tejidos Restantes	0.30

Otro concepto importante es el de dosis efectiva equivalente colectiva "S", que es la suma de todas las dosis equivalentes individuales.

$$S = \sum H_i N_i$$

donde $\sum H_i N_i$ es la población expuesta

La S anual global para diferentes fuentes ha sido estimada en:

Radiación Natural	3×10^8	rad-hombre
Viaje Aereo	3×10^5	rad-hombre
Usos Domésticos	1×10^8	rad-hombre
Consumo de Plantas de Potencia, de	4×10^6	rad-hombre
a	4×10^5	rad-hombre

El Sievert (Sv) es la unidad de dosis equivalente efectiva y es el resultado de ponderar la dosis absorbida por el factor de calidad de la radiación (QF) y el posible efecto biológico en un tejido en particular.

$$1 \text{ Sv} = \text{J/Kg} = 100 \text{ rem}$$

1.4.6 Niveles de Radón

Una de las unidades utilizadas para medir los niveles de radón es la conocida como "Niveles de Trabajo" (WL). Esta unidad se estableció para valorar el riesgo a la salud de los mineros en la industria minera del uranio. Los estudios que se han hecho en la industria minera del uranio son la base para determinar los riesgos a la salud que causan en el sistema respiratorio, el radón y sus hijos.

Un WL (working level) está definido como la cantidad de los productos de decaimiento de vida media corta, que tienen el potencial de liberar 1.3×10^{11} electrón volts de energía de partículas α por litro de aire, y 1 electrón volt (eV) se define como la energía adquirida por un electrón cuando es acelerado por una diferencia de potencial de 1 voltio.

$$1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-6} \text{ ergios} = 3.827 \times 10^{-14} \text{ calorías}$$

Un WL depende generalmente del grado de equilibrio radiactivo entre el radón y sus productos de decaimiento: bajo ciertas condiciones de residencia el radón y sus hijos tienden a alcanzar un estado de equilibrio.

$$1 \text{ WL} = 200 \text{ pCi/l de } ^{222}\text{Rn (50 \% de equilibrio)}.$$

O sea fracción de equilibrio igual a 0.5, definiendo fracción de equilibrio como una cierta concentración de radón, que tiende a alcanzar un estado de equilibrio con sus productos de decaimiento en un espacio cerrado; donde son iguales las velocidades de formación y de decaimiento de cada descendiente con su predecesor. En perfecto equilibrio (secular) un WL de productos de decaimiento del radón está en equilibrio con 100 pCi/l de radón. Sin embargo otros factores (adhesión de los productos de decaimiento a paredes o pisos), tienden a bajar la concentración de los productos de decaimiento removiendo los antes que se desintegren y por lo tanto no se alcanza al equilibrio. El grado de desequilibrio es medido por la fracción de equilibrio que no es sino el coeficiente de la concentración de los productos de decaimiento entre la concentración de radón multiplicada por 100.

$$\text{Factor de Equilibrio} = (\text{WL}) * 100 / (\text{pCi/l})$$

En casas típicas el factor de equilibrio se encuentra entre 0.3 y 0.7 con un promedio de 0.5, por lo tanto con un factor de equilibrio igual a 0.5 (200 pCi/l de radón son equivalentes a 1 WL).

1.5 DETECCION DE LA RADIOACTIVIDAD

1.5.1 Instrumentos en el Estudio de las Radiaciones

Como el hombre con sus sentidos no percibe las radiaciones, fabricó instrumentos para detectar lo imperceptible. Las radiaciones nucleares sólo se pueden observar indirectamente a través de los efectos que producen al atravesar la materia y los aparatos diseñados para medir su energía e intensidad están basados en estos efectos.

El desarrollo del estudio de los radionúclidos y las radiaciones que emiten ha sido posible con los adelantos que se han dado en la electrónica, la cual ha ido produciendo cada vez más y mejores instrumentos, que proporcionan datos acerca del número de núcleos decayendo por unidad de tiempo en una muestra radiactiva y de la energía de las radiaciones absorbidas por el detector con gran eficiencia variable.

Los diferentes detectores de radiactividad están basados en tres principios y son los siguientes:

- 1.- La recolección de iones producidos cuando las radiaciones atraviesan un gas.
- 2.- La transformación en pulsos eléctricos de la fosforescencia producida cuando las radiaciones son absorbidas por materiales especiales (Detectores de Centelleo y Tubo Fotomultiplicador).
- 3.- El comportamiento de materiales semiconductores de corriente al ser atravesados por radiaciones.

1.5.2 Recolección de Iones Producidos en Gases

La interacción de los varios tipos de radiación con la materia, consiste en la ionización de los elementos en los cuales se disipa la energía de la radiación, un método de detectarlas consiste en la recolección de los iones producidos y posteriormente transportarlos a un circuito eléctrico. La característica principal de tales instrumentos es que cuentan con un sistema de electrodos en forma de platos. Con un alambre central que actúa como ánodo y la pared de un cilindro actúa como cátodo. Si bien se produce ionización cuando la radiación pasa a través de cualquier estado de la materia, uno de los medios más apropiados para realizar la recolección de los iones producidos es un gas.

Si un cilindro es llenado y una fuente radiactiva es colocada de manera que la radiación atraviese el gas y cause ionización de sus moléculas, los iones producidos serán atraídos hacia los electrodos debido a la carga positiva en uno y negativa en otro aplicada previamente.

Generalmente el alambre central es aquel con carga positiva y por lo tanto actúa como ánodo para atraer los electrones originados al ionizarse las moléculas con la radiación, de modo que bajo condiciones apropiadas una corriente debe pasar desde el alambre central hasta el otro electrodo a través de un circuito externo.

En esta forma, los dos principales problemas que deben ser considerados en la detección de la radiación ionizante por medio de gas, son la medida de muy pequeñas cantidades de corriente en el circuito externo, problema resuelto por la electrónica y el comportamiento de los iones en el seno del gas como función del voltaje aplicado para su recolección. Este último resulta muy importante en el estudio de los núclidos, porque de ello depende que existan tres tipos de detectores basados en la ionización de gases: a) Cámara de Ionización, b) Detectores Proporcionales y c) Detectores Geiger-Müller.

Los detectores que operan en la región donde el voltaje resulta insuficiente para causar amplificación gaseosa son conocidos como Cámaras de Ionización. Generalmente se utilizan para detectar partículas que producen una gran ionización específica, tales como las partículas α y en nuestro caso son muy útiles ya que las emisiones del radón son partículas α . Estos instrumentos presentan ventajas y desventajas, una ventaja es de ser muy simples y seguras y la desventaja es que proporcionan pulsos de muy bajo voltaje y se requiere de una gran amplificación externa para hacer posible una operación del tipo de cuentas por unidad de tiempo, usándose más bien la medida de la carga acumulada en los electrodos usualmente en forma de platos paralelos, como un medio para determinar niveles de radiactividad.

En los detectores proporcionales el sistema de platos paralelos de las cámaras de ionización para realizar las funciones de electrodos, es reemplazado por un cilindro, que actúa como cátodo y un delgado alambre central o una pequeña esfera en el centro del mismo que funciona como ánodo. Con esta disposición se evita que

los electrones iniciales liberados entre los electrodos causen avalanchas cuyo tamaño estaría determinado por su punto de formación, ya que la intensidad del campo eléctrico en la mayor parte del volumen gaseoso es tal que asegura una rápida recolección de iones formados, pero sin dar lugar a amplificación gaseosa.

Solo en una región restringida cerca del ánodo, la intensidad del campo alcanza valores que originan avalanchas. En esta forma, prácticamente todos los electrones originales pasan por la región multiplicadora y cada uno causa avalancha de igual magnitud, dentro de variaciones estadísticas normales.

En los detectores Geiger-Müller (GM), los pulsos producidos son similares a los obtenidos por un detector proporcional, pero de una mayor amplitud, como resultado de que las avalanchas iónicas originadas por la recolección y el voltaje aplicado son mucho más grandes. La escala del tiempo en los eventos producidos es también similar, aunque los detectores GM estén limitados a manejar menor número de cuentas en cada unidad de tiempo, debido a que el intervalo necesario para producir dos pulsos consecutivos (llamado tiempo de resolución) es mayor en los detectores GM que en los proporcionales.

1.5.3 Detectores de Centelleo

Los detectores de centelleo difieren en su principio de los contadores basados en la recolección de iones. Están basados en el centelleo producido por procesos de excitación.

Las sustancias capaces de absorber energía y emitirla en la forma de fotones de luz son llamados fósforos. El primero que se uso como fósforo fue el ZnS. Hay otros que al ser excitados emiten una cierta fracción de la energía total absorbida en forma de luz azul correspondiente a una longitud de onda aproximada de 3 eV.

Para la detección de partículas α se utiliza el ZnS con trazas de Ag.

La base fundamental de este tipo de medición es que el número de fotones producidos es proporcional a la energía total disipada por la radiación en interior del fósforo, siendo la detección de estos fotones la que proporciona un pulso o señal electrónica. En esta forma, aunque es posible detectar por medios visuales centelleos

de luz originados por un número de fotones producidos a su vez por la radiación nuclear, este método de detección no fué altamente desarrollado sino hasta el perfeccionamiento del tubo fotomultiplicador, capaz de convertir los destellos de luz en pulsos amplificados de corriente.

El tubo fotomultiplicador es un cilindro transparente conteniendo un fotocátodo, frecuentemente fabricado de aleaciones de Ag-Mg o Cs-Sb. El cilindro transparente que actúa como envase del fotocátodo, debe estar colocado junto al fósforo, de tal manera que el centelleo producido por éste llegue al fotocátodo, el cual será capaz de producir aproximadamente un fotoelectrón por cada 10 fotones de longitud de onda característica emitidos por el fósforo. Para lograr mayores eficiencias (arriba del 20%) la producción de fotoelectrones puede ser alcanzada con la combinación de varios factores para mejorar el fotomultiplicador, donde los electrones originalmente producidos por la luz son acelerados por diferencia de potencial de 100 volts o más hacia el primer electrodo o dínodo, el cual produce n electrones secundarios que son acelerados en forma similar a un segundo dínodo, que producirá n^2 electrones. Con 10 dínodos, la carga de los fotoelectrones originales es multiplicada n^{10} veces.

En un detector de centelleo se realizan las siguientes operaciones:

- 1.- La radiación nuclear es absorbida en el centellador con la subsecuente emisión de fotones de luz.
- 2.- Estos fotones deben ser transmitidos con un razonable rendimiento al fotocátodo.
- 3.- La absorción de fotones de luz en el fotocátodo debe resultar en la emisión de electrones.
- 4.- Los pasos sucesivos del tubo fotomultiplicador, deben multiplicar suficientemente el número de electrones para proporcionar un pulso a la salida lo bastante grande para ser manejado en forma adecuada por el amplificador y el resto del sistema electrónico, a fin de poder relacionar números de pulsos o cuentas con desintegraciones por unidad de tiempo, según la eficiencia del sistema.

1.5.4 Detectores Semiconductores

A este tipo de detectores semiconductores también se les denomina impropriamente detectores de estado sólido, porque hacen uso de materiales sólidos que presentan una muy pobre conductividad eléctrica.

Las estructuras cristalinas de elementos como silicio o germanio, con 4 electrones de valencia son muy homogéneas, porque todos estos electrones son usados en la formación de enlaces químicos, y en consecuencia su capacidad de transportar corriente es muy reducida. Pero cuando átomos como el fósforo (donante), con 5 electrones de valencia son introducidos como impurezas en un cristal de germanio o de silicio, 4 de estos electrones serán utilizados para formar parte de enlaces químicos y el quinto de entre ellos quedará sin lugar en la red cristalina, rompiendo su regularidad. A estos cristales impuros se les llama del tipo N. Cuando otros átomos como el boro (receptor), con 3 electrones de valencia son introducidos en un cristal puro de igual naturaleza quedará un hueco por el electrón faltante, a estos cristales se les llama del tipo P.

Si se colocan materiales del tipo N en contacto con los del tipo P, se establece una diferencia de potencial entre ellos y en la zona de unión los electrones que sobran del donante (fósforo) ocuparán los sitios vacíos del receptor (boro) creando una estructura homogénea no conductora. Cuando el voltaje externo aplicado a través de esta zona se incrementará el espesor de la capa no conductora, misma que al ser atravesada por una radiación ionizante formará pares de iones, esto es, electrones libres y huecos en la estructura cristalina. Los electrones liberados migran de inmediato hacia el polo positivo, fluyendo un pulso de corriente en un tiempo del orden de 10^{-8} s.

La forma de transmisión de electrones a partir de la zona de unión, consiste en un movimiento en sentido contrario de electrones y huecos en átomos contiguos, lo que permite que su recolección y consecuente formación del pulso sea tan rápida, a diferencia de lo que sucede en la ionización de gases, donde resulta necesario el desplazamiento físico de los iones a través de una distancia dada. Entre materiales usados como donadores se encuentran el litio y el arsénico y como receptor al oro.

Actualmente, los detectores semiconductores más usados son los de Ge-Li o Si-Li, debido a su óptimo funcionamiento, aún cuando requieren de un dispositivo que los mantenga a temperaturas bajas para conservar sus propiedades semiconductoras; a este dispositivo se le llama crióstato.

Como los diodos semiconductores tienen una densidad mayor a la de los detectores de ionización de gases, el alcance a las partículas α es menor y se miden mejor en micras que en milímetros. Sólo 3.5 eV son necesarios para formar un par iónico en silicio contra 28 eV en argón. Como el volumen es mucho menor para una misma energía total depositada, se generan 8 veces más carga en el detector de estado sólido que en el detector de gas, además la alta velocidad en la producción de pulsos y la alta resolución el tamaño del pulso es proporcional a la energía depositada en la capa de unión, sin importar la masa o carga de radiación.

De esta forma, el pulso producido por una partícula α de 5 MeV es 5 veces mayor a aquél producido por un protón de 1 MeV.

Esto no sucede en cualquier otro tipo de detector, donde las partículas α usualmente proporcionan pulsos menores que radiaciones de la misma energía pero de menor ionización específica, debido a que para altas densidades iónicas aumenta la probabilidad de recombinación de los iones positivos y negativos.

1.6 Técnicas de Detección del Radón

Existen siete técnicas para detectar o medir, ya sea el radón o sus productos de decaimiento.

La E.P.A. (Environment Protection Agency) recomienda que cualquiera que sea la técnica que se utilice, esta deberá ser fácilmente reproducible. Las técnicas son las siguientes:

1.6.1 Detector de Trazas-Alfa. ATD

Consta de una pequeña pieza de plástico introducida por un orificio dentro de un contenedor recubierto con un filtro. Las partículas α que son emitidas por el radón y sus productos de decaimiento que se encuentran en el aire, golpean el plástico dejando trazas submicroscópicas, al final del periodo de medición los detectores se mandan al laboratorio, donde la pieza de plástico es sumergida en una solución de sosa para acentuar las trazas que se puedan contar con un microscopio o con un sistema de conteo automatizado. Los datos generados por una calibración se utilizan para correlacionar el número de trazas por unidad de área con la concentración del radón en el aire.

Hay muchos factores que pueden contribuir a la variación de los resultados en los ATD como puede ser el número de trazas del fondo, variación en las condiciones de grabado, diferencias en la respuesta del detector entre lotes y sin el plástico, el depósito no uniforme de los productos de decaimiento dentro del detector. El aumentar el área de conteo reduce el error en los resultados, éste error también se puede reducir si se corre un duplicado. Si esto no fuera posible por consideraciones económicas, los datos obtenidos deberán evaluarse tomando en cuenta los errores relativos asociados con el conteo del área y el número de trazas netas especificado en el procedimiento del laboratorio.

1.6.2 Carbón Activado en Botes

Al igual que el método anterior este método es pasivo. El carbón activado permite la adsorción y desorción continua del radón y cuando éste es adsorbido está sometido al decaimiento radiactivo durante la medición, por tanto esta técnica no integra uniformemente las concentraciones del radón durante el tiempo de

exposición.

En general el bote es un recipiente circular de 6 a 10 cm de diámetro y 2.5 cm de altura, que se llena de 25 a 100 gr de carbón activado. Un lado del recipiente tiene adaptada una malla metálica para que permita la difusión del aire dentro del carbón activado; cuando el recipiente no se usa, este se sella con una cubierta especial y se guarda hasta que se utilice. Al iniciar el muestreo la cubierta se retira para que permita el flujo de aire, el radón que se encuentra en él será adsorbido dentro del carbón activado y consecuentemente decaerá ahí mismo y al finalizar el periodo de muestreo se sella nuevamente y es llevado al laboratorio para su análisis.

En un detector de rayos gamma (γ), se cuentan aquellos con energía entre 0.25 y 0.61 Mev, correspondientes a los productos de decaimiento del radón. Como el carbón absorbe agua reduciendo su sensibilidad efectiva es necesario hacer una corrección, en cada recipiente antes y después de cada muestreo. Cualquier aumento de peso se atribuye al agua absorbida por el carbón, y este aumento de peso se correlaciona con un factor de corrección que es utilizado para corregir los resultados del análisis.

1.6.3 Unidad Muestreadora Integradora de los Descendientes del Radón. RPISU

Esta unidad de muestreo continuo consiste en una pequeña bomba que hace pasar un flujo continuo de aire hacia un arreglo de detección, que contiene un filtro y dos dosímetros termoluminiscentes (TLDs). Uno de los TLD mide la radiación emitida de los productos de decaimiento del radón que se depositaron en el filtro; el otro TLD se usa para corregir la radiación γ de fondo. La bomba y el detector operan por lo común entre 3 y 7 días y al finalizar el periodo de muestreo los dosímetros se regresan al laboratorio para su análisis. El análisis consiste en medir la luz emitida por los TLD durante el calentamiento. Este equipo proporciona medidas a corto plazo de la concentración de los productos de decaimiento más que de los niveles de radón. La precisión de esta técnica es buena siempre y cuando la concentración de partículas en el aire no sea muy alta.

1.6.4 Monitor Continuo de Niveles de Radón. CWLM

Un CWLM trabaja filtrando flujos pequeños de aire alrededor de 0.1 litro por minuto a través de un cartucho filtro.

Un detector de unión difusa o detector de barrera-superficial cuenta las partículas α producidas por el decaimiento del radón y sus productos de decaimiento en el filtro. El detector normalmente se ajusta para detectar partículas α con energías entre 2 y 8 Mev. Las partículas α emitidas por el polonio-218 y el polonio-214 contribuyen significativamente en los eventos que son medidos en el detector, estos son directamente proporcionales al número de partículas α emitidas por los productos de decaimiento del radón sobre el filtro. Una unidad de este tipo contiene un microprocesador que almacena el número de cuentas en el tiempo transcurrido; puede ser programada para registrar las cuentas totales obtenidos durante períodos de tiempo específicos. La unidad se calibra y se obtiene una constante de calibración para después convertir las cuentas en valores de niveles de trabajo, que puede ser hecho al inicio por el fabricante y después periódicamente por el operador.

Este equipo es el que se utilizó para la realización de este trabajo y una descripción más detallada se dará más adelante en la parte experimental.

1.6.5 Muestreo por Grabado

El termino de muestreo por grabado se refiere a un muestreo en un tiempo muy corto (alrededor de cinco minutos) y consiste en evaluar en un pequeño volumen de aire del ambiente interior de una casa habitación la concentración del radón y de sus productos de decaimiento.

En este método la muestra de aire es aspirada en una celda sellada que contiene una capa de fósforo de sulfuro de zinc en toda la superficie interna del frasco. En una parte del frasco o celda se deja una ventana transparente en contacto con el tubo fotomultiplicador para contar los pulsos de luz o centelleos originados por las interacciones de las partículas α de la muestra con el sulfuro de zinc. El número de pulsos es proporcional a la

concentración de radón en la celda.

La celda necesita contarse por lo menos cuatro horas después de ser llenada para que se alcance el equilibrio entre el radón y sus productos de decaimiento de vida media corta. Se aplican factores de corrección para aplicarlos a los resultados para compensar por el decaimiento durante el tiempo entre la colección y el conteo y durante el conteo.

Las mediciones por este método, en la concentración de los productos de decaimiento del radón en el aire, son hechas por colección de los productos de decaimiento en un volumen conocido. Existen varios procedimientos para llevar a cabo, la gran ventaja de esta técnica es que los períodos de medición son muy cortos y dependen de si se miden todos los productos de decaimiento en total, o interesa conocer su concentración individual obteniendo resultados inmediatamente, pero la desventaja de este método es su precio relativamente caro.

1.6.6 Monitor Continuo de Radón. CRM

El CRM toma muestras de aire ambiental de la casa habitación bombeando aire hacia dentro de una celda de centelleo después de pasarlo por un filtro para remover partículas muy finas de polvo y de los productos de decaimiento del radón. A medida que el radón en el aire decae se ioniza y una vez ionizado se deposita en la superficie interior de la celda de centelleo. Los hijos del radón decaen por emisiones α y las partículas golpean el revestimiento interior que se encuentra en la celda causando el centelleo.

El centelleo es detectado por un fotomultiplicador que se encuentra en el detector y este genera señales eléctricas. Las señales son procesadas y el resultado cualquiera que fuera se almacena en la memoria del CRM o se obtienen los datos a través de su impresora. El CRM deberá ser calibrado en un medio de radón conocido para obtener un factor de conversión, y obtener ya sea cuentas por minuto o concentraciones de radón.

Un CRM puede ser del tipo de celda de flujo continuo o del tipo de llenado por un período de tiempo. En la primera, el aire fluye continuamente dentro de la celda de centelleo y en la segunda, la celda se llena de aire durante cada intervalo de tiempo preseleccionado detectando los centelleos.

1.6.7 Electret-Monitor Pasivo de Radón Ambiental. E-PERM

El E-PERM es un detector de tipo integrado utilizado para medir radón. Es un dispositivo que contiene un " Electret " cargado que reacciona con la radiación emitida por el radón y sus productos de decaimiento. Como es un dispositivo pequeño puede ser enviado por correo e instalado en casa y efectuar una medición de dos a siete días o tres en E-PERM de corto plazo y para los de largo plazo de tres a doce meses.

Al finalizar el período de muestreo se regresan al laboratorio analítico para su procesamiento y evaluación. La ventaja de este sistema es que es relativamente barato, su análisis es no destructivo y se pueden verificar los resultados, la desventaja que presentan es que son sensibles a radiación γ .

1.7 FUENTES de RADON en INTERIORES

1.7.1 Radón en la Corteza Terrestre

La corteza terrestre está constituida principalmente por basalto y granito (rocas ígneas). Estas son las fuentes principales de radiación para la población que se encuentra al aire libre.

El granito es más radiactivo que las rocas sedimentarias. los granitos contienen⁷ una concentración de uranio que varía de 2 a 6 ppm aproximadamente y una concentración de torio de 3 a 5 veces mayor. El uranio es mucho más abundante que otros elementos comunes; se encuentra en una proporción 40 veces mayor⁴⁶ que la plata y 800 veces mayor que el oro.

Existen regiones en las que, por distintas causas geológicas y geoquímicas, las concentraciones de los elementos radiactivos son anormalmente altas; es en los yacimientos de minerales radiactivos donde existe mayores cantidades de uranio y torio. En México se han localizado yacimientos de uranio en Chihuahua, Nuevo León, Tamaulipas, Sonora, Sinaloa, Oaxaca, y Baja California.

TABLA 3

Concentraciones de uranio y torio en varios tipos de rocas

Tipo de rocas	Nombres	Concentración uranio (ppm)	Concentración torio (ppm)
Ígneas	Granito	2.2--6.1	8--33
	Basalto	0.1--1.0	0.2--5.0
Metamórficas	Granulitas	4.9	21
	Gneiss	2.0	5.0--27
Sedimentarias	Bauxitas	11.4	49
	Moluscos	----	----
	Fósiles	0.5--8.0	Muy bajo
	Arenas de mar	0.7--4.0	1.0--30

F. B. #46

La mayor parte del radón interior proviene de las rocas y suelos alrededor de la casa, el ^{222}Rn es encontrado virtualmente en cualquier lugar y aún sea en pequeñas cantidades, ya que su antecesor el ^{226}Ra o el más distante ^{238}U se encuentra en todo tipo de rocas. Factores tales como porosidad, humedad, y permeabilidad (de rocas y suelos) y en menor grado el agua y materiales de construcción modifican la concentración del radón. Estudios efectuados en E.U. sobre diferentes tipos de suelos^{2p} han encontrado concentraciones máximas de 16200 pci/l y en promedio de 1000 pci/l; las altas concentraciones de radón son producidas por la presencia de glauconita (mineral con hidrosilicato de hierro, potasio y aluminio), fosfatos, y otros materiales carbonáceos. Se debe tomar en cuenta que la mayoría de los suelos son impermeables. Dicha permeabilidad varía desde $1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ en arenas de grano grueso hasta impermeabilidad en las arcillas.

La emanación de radón por los suelos es muy importante y depende de su porosidad, (grande o pequeña). Los mecanismos para que fluya el radón dependen de dos aspectos importantes que son la fuerza de convección inducida por gradientes de presión y de temperatura entre la fuente y el aire ambiental y también como ya se mencionó, la humedad. Mucha de la radiactividad de los suelos depende grandemente de sus orígenes y de las condiciones al iniciar los muestreos. La tasa de emanación pueden variar desde $2 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^2$ a $5.2 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2$ con un promedio de $1.6 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2$.

En México en un estudio efectuado en el D.F. dividiéndolo en tres zonas⁴⁷, zona de Cerros, zona de Transición y zona de Lagos. las concentraciones más altas se encontraron en la zona de Transición, alrededor de 15000 Bq/m^3 y las concentraciones más bajas en la zona de Cerros, aproximadamente 100 Bq/m^3 .

La estimación⁴ del promedio de la concentración del ^{238}U para la corteza terrestre es de 2 a 4 ppm o 0.7 a 1.3 pci/g. Una parte por millón (ppm) en peso de ^{238}U equivale aproximadamente en actividad específica a 0.33 pci/g de materia, o lo que es lo mismo 0.33 pci/g de ^{226}Ra en equilibrio con uranio.

Puede haber una amplia variación en cuanto a la concentración de uranio en las rocas; pueden encontrarse concentraciones hasta 1000 ppm en ciertos tipos de rocas, pero no es muy frecuente. El

uranio tiende a tener una cierta afinidad química con las rocas fosfóricas y fosfáticas, y es común encontrar en ellos concentraciones de 100 ppm o más.

En rocas carbonáceas (piedra caliza y dolomitas), se pueden encontrar concentraciones de uranio de 2 a 3 ppm.

En áreas que presentan fallas o fracturas geológicas y su clima es muy cambiante, el problema puede ser latente ya que el uranio se puede hospedar en este tipo de rocas y puede haber emanación de radón a la superficie en cualquier momento, pero esto no se ha confirmado aún.

Las fallas o fracturas en zonas rocosas pueden alterar la concentración del radón de varias formas; pueden crear vías o rutas para que el radón emigre al exterior de las mismas aumentando el flujo y el enriquecimiento del radón ya existente en el interior de la vivienda; y si estas fallas contienen además uranio y radio, el problema de los niveles de radón en el interior de la vivienda puede ser grave.

Los suelos al igual que las rocas también pueden presentar fallas o fracturas; algunos suelen retraerse y producir rupturas con una relativa permeabilidad alta. Algunos materiales al encontrarse superficialmente aumentan la permeabilidad de los suelos en 2 a 3 órdenes de magnitud. En suelos con alta permeabilidad y contenido bajo de radio, se pueden originar riesgos por el radón.

1.7.2 Radón en Suelos

Los suelos juegan un importante papel en la aportación del radón; como muchos derivan fundamentalmente de rocas que constituyen una fuente de radón similar a estas.

Los suelos contienen alrededor de 1 a 3 ppm de uranio, pero esto también puede variar dependiendo del tipo de roca del cual se derivaron y de las condiciones en que se formó.

Los niveles de radio medidos en los E.U.⁴¹ tienen un promedio de 1 pci/g, el cual se considera normal, pero incluso esta concentración puede producir posteriormente concentraciones de radón entre 200 a 1000 pci/g en condiciones típicas del suelo.

Otro factor importante para la migración y producción de radón en

los suelos, es el agua. El agua en los poros del suelo aumenta aparentemente la producción del radón, porque reduce el alcance de retroceso del radón y evita que se fije en granos del suelo subyacentes dentro de los espacios del poro de donde los átomos de radón se difunden al aire y puede migrar a través del suelo.

Si los poros del suelo están totalmente saturados, como sucede después de una lluvia continua, es probable que el átomo de radón no sea parte del gas del suelo, esto es porque el agua impide la migración disminuyendo el coeficiente de difusión del radón y absorbiéndolo.

En resumen, el transporte de radón a través del suelo se incrementa conforme se incrementa la humedad, hasta que el contenido de humedad es tan grande que otro incremento⁴¹ empieza a reducir el transporte del radón.

La permeabilidad de los suelos también juega un papel muy importante, determinando la capacidad del radón para entrar en la vivienda. Los suelos permeables son un medio común para que el radón viaje y esta alta permeabilidad incrementa los niveles de radón en interiores; al contrario la baja permeabilidad retarda los movimientos del radón reduciendo la probabilidad de que el radón entre a la vivienda.

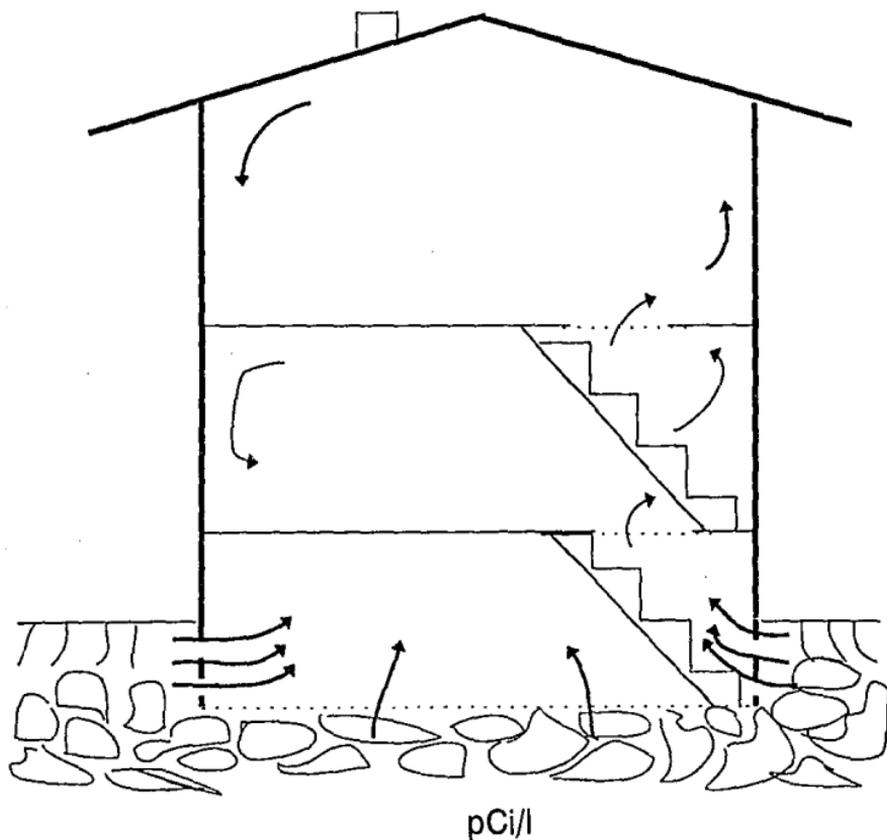
Una gran concentración de ²²⁶Ra en el suelo tiende a incrementar los niveles de radón, pero la permeabilidad del mismo puede cambiar esta tendencia.

La concentración ²³⁸U o de ²²⁶Ra en un lugar solo puede usarse como una aproximación de que dicho lugar tenga un alto potencial de radón, ya que se deben tomar en cuenta otros muchos factores naturales y algunos causados por el hombre. Las variables que se deben tomar en cuenta son: el contenido de ²²⁶Ra, la permeabilidad del suelo y la difusividad del radón en el aire.

1.7.3 Características de la Casa

Algunos estudios⁵⁰ han mostrado que los niveles de radón en interiores varían dependiendo de las características de la casa. Los hogares que cuentan con un gran patio o están colocados sobre cimientos, tienen niveles de radón ligeramente más bajos que los que se encuentran sin cimientos y sobre el suelo firme. ya que tienen un espacio de amortiguamiento entre el suelo y el área de

FIG 5 CONCENTRACION DE RADON
CASAS HABITACION



	Feb-Abr	Oct-May	May-Oct	Prom. Anual
2º Piso	11.0	12.1	2.4	7.1
1º Piso	25.5	12.2	3.0	7.6
P. Baja	---	16.6	4.5	10.6
Sótano	40.6	32.6	9.1	20.9

vivienda.

La ventilación de la casa también puede ayudar a reducir los niveles de radón en el interior, pero no determina la concentración del mismo.

1.7.4 Radón en Agua

Otra fuente que aporta radón al interior de casas habitación es el agua freática y al igual que el radón en suelos, el riesgo es que pueda inducir cáncer de los pulmones por inhalación del radón que se está liberando del agua al aire. Se ha estimado que el agua potable, contribuye con 1 a 7% al radón en interiores.

Si el agua que llega a la vivienda proviene de áreas con un contenido significativo de ^{238}U en el suelo o en las rocas, aumentará el nivel de radón en el interior de la casa. La vida media del gas determina su posible distancia de transporte.

El daño producido por las radiaciones es despreciable si el agua es consumida, ya que el alcance máximo de sus partículas α del radón o la de sus hijos en el agua es de 30 a 70 μm^{28} .

Sin embargo, el radón puede ser liberado del agua, si esta es agitada o transportada violentamente.

Muchos de los procesos donde el agua queda expuesta al aire, liberan al radón.

El radón es liberado dentro de los hogares, cuando se lava la ropa, durante el baño y cuando llueve. Muchos hogares cuentan con abastecimiento de agua de servicio público, y esta es aereada y después bombeada; por lo tanto al llegar al interior de la vivienda contendrá bajos niveles de radón; los hogares que se abastecen con agua de sus propias cisternas, contendrán en cambio niveles mucho más altos de radón.

La concentración promedio de radón en agua potable del suministro público es de 240 pCi/l .

La máxima concentración de radón encontrado en agua potable en un pozo fué de 2 000 000 pCi/l.

La concentración promedio de radón en agua potable abastecida de mantos subterráneos es de 420 pCi/l.

Se ha estimado que una concentración de radón en agua de 10 000 pCi/l puede liberar una concentración de 1 pCi/l de radón al aire del interior de una casa, (asumiendo un uso normal del agua).

TABLA 4
NIVELES DE RADON EN UNA CASA TIPICA
PROMEDIO (pCi/l) MEDIA (pCi/l)

SALA	1.7	1.18
COCINA	2.5	1.00
COMEDOR	1.8	1.30
RECAMARA	3.4	9.00
SALA	2.7	1.23
CUARTO FAMILIAR	2.7	1.52
CIMENTACION	7.1	3.19
OTROS	3.2	1.52

F. B. #35

1.7.5 Radón en Materiales de Construcción

Otra fuente importante que contribuye a la concentración de radón en el interior de casas habitación son los materiales con que fué construida.

Los materiales de construcción también liberan radón aún cuando normalmente su contribución es baja. Materiales tales como la madera son los que aportan una menor cantidad, mientras que el cemento y los ladrillos emiten una mayor cantidad de radón.

Sin embargo hay algunos casos en que se usaron materiales de construcción que contenían cantidades significativas de radio.

Ejemplo de ello son casas construidas con materiales contaminados con desechos de minas de uranio o de radio con desperdicios industriales uraníferos o de fosfoyesos.

Se sabe desde los inicios del siglo XX, que el uranio se encuentra en cantidad de trazas en muchas sustancias aquí en la tierra, incluyendo suelos y rocas. Es un elemento que se encuentra distribuido con concentraciones⁵⁴ aproximadas de 2 ppm.

Como ya se mencionó también, otros isótopos radiactivos presentes en los materiales de construcción son: el torio, los descendientes de ambos y el potasio-40.

Por lo tanto también se presentan problemas en hogares que utilizaron roca ígnea en su cimentación que contenía radio o que

en sus pisos utilizaron grandes bloques de granito. Para muchos hogares la contribución a los niveles de radón de los materiales de construcción es de los últimos factores a considerar dependiendo de las fuentes naturales con las cuales se elaboraron, su origen y si fueron o no contaminados en su proceso de elaboración con algún desperdicio industrial radiactivo.

Los materiales de construcción para casas habitación comúnmente provienen de materiales naturales, como arenas, rocas, cementos, los cuales contienen trazas de isótopos radiactivos naturales.

El radón contenido en los materiales fluye o tiende a salir de la parte baja del suelo, y se adhiere a los aerosoles de la vivienda emite así su radiación al decaer a sus descendientes y así sucesivamente.

El decorado en las paredes interiores de la vivienda actúa, dependiendo de su origen y naturaleza como sellador ó como fuente misma de radiación, disminuyendo o incrementando los niveles de radón.

Los resultados en otros países acerca de la emanación de radón provenientes de los materiales de construcción (tabla 5) son parecidos a los estudios obtenidos en México.

TABLA 5		
Material	País	nBq/cm ² .s
Ladrillo	Dinamarca	7.0
	Canadá	2.2
Concreto	E.U.A	2.1
	Canadá	5.7
Yeso	Bélgica	12.0
	Canadá	0.6
Mármol	Alemania	5.0
Madera	E.U.A	0.2
	Canadá	0.2

F. B. #03

Como se mencionó anteriormente la porosidad, la alta permeabilidad de las paredes y los cimientos de la casa habitación son los que más contribuyen a la concentración de radón en el interior de la vivienda, así como la mala ventilación y en el período de invierno que también admiten una cantidad significativa de radón.

En los primeros estudios sobre radón⁵⁴ en la ciudad de México y sus alrededores muestran una cantidad considerable de casas habitación construidas en zonas volcánicas.

Se midió también la contribución al radón de los materiales de construcción más comúnmente usados en la misma, midiendo las emisiones con materiales desnudos y terminados con recubrimiento de diferentes tipos como pintura, papel tapiz, yesos etc.

Los resultados de este estudio se muestran en las figuras 6 y 7 y se encontró que, en general todas las pinturas y recubrimientos reducen las emisiones α , excepto la pintura blanca comercial, que contribuye por si misma a la radiación.

En las figuras 6 y 7 se muestra el registro de partículas α provenientes de la superficie de algunos materiales de construcción desnudos y con recubrimientos.

Código Material de construcción

- a).- Ladrillo rojo pesado
- b).- Ladrillo rojo ligero
- c).- Tabique rojo cerámico
- d).- Tabique ocre cerámico
- e).- Tabicón
- f).- Roca volcánica

Código Material de Recubrimiento

- 1.- Material Desnudo
- 2.- Recubrimiento de Cemento
- 3.- Recubrimiento de Yeso
- 4.- Pintura amarilla de aceite sobre Yeso
- 5.- Pintura amarilla de aceite

- 6.- Pintura verde de aceite sobre Yeso
- 7.- Pintura verde de aceite
- 8.- Pintura azul de aceite sobre Yeso
- 9.- Pintura azul de aceite
- 10.- Pintura blanca vinílica sobre Yeso
- 11.- Pintura blanca vinílica
- 12.- Barniz
- 13.- Papel Tapiz sobre Yeso

F. B. #54

FIG 6 REGISTRO DE TRAZAS DE PARTICULAS ALFA
MATERIALES DE CONSTRUCCION Y RECUBRIMIENTOS

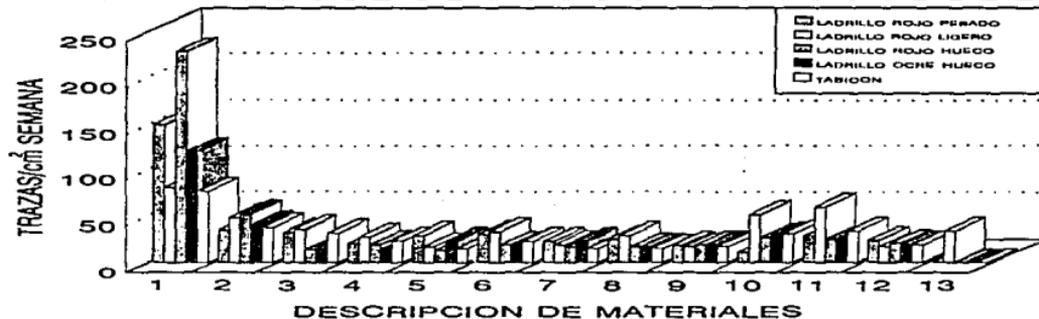
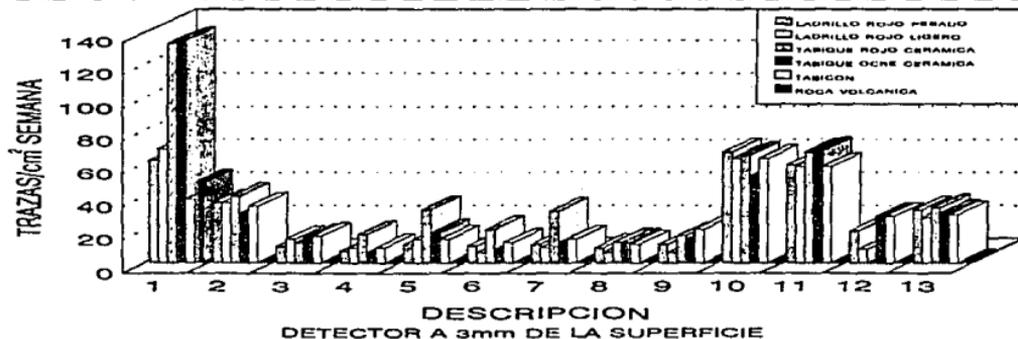


FIG 7 REGISTRO DE TRAZAS DE PARTICULAS ALFA
MATERIALES DE CONSTRUCCION Y RECUBRIMIENTOS



1.7.6 Niveles de Radón en Diferentes Países

Los niveles de radón en varios países varían debido a su altitud, tipo de suelo, clima y su ubicación respecto a zonas volcánicas: pero algunos se incrementaron debido a accidentes provocados por el mismo hombre como sucedió en la planta nuclear de Chernobyl (fig. 8) en 1986, donde se estimó que de la dosis recibida por radiación natural correspondían al radón el 69%.

La O.I.E.A. (Organización Internacional de Energía Atómica) reporta un 54% de la dosis anual por radón.

El radón constituye el mayor porcentaje de la dosis per capita proveniente de la radiación natural de fondo (1.2 msv).

En países como Suecia, desde hace varios años existe la inquietud de determinar las concentraciones de los descendientes del radón en el interior de casas habitación, la razón principal de este interés radica en que las dosis absorbidas dadas por estas fuentes de radiación son en muchos casos del mismo orden de magnitud o aún mayores, que los límites aceptados por los Comités Internacionales de Protección Radiológica. Por otro lado, las medidas que se han tomado en dicho país para disminuir el consumo de energía tienden a aumentar su concentración en el aire del interior de las casas.

En Umbría, Italia estudios efectuados en el interior de las viviendas mostraron que a pesar de que la dosis de radiación y es muy elevada los niveles de radón son aparentemente normales.

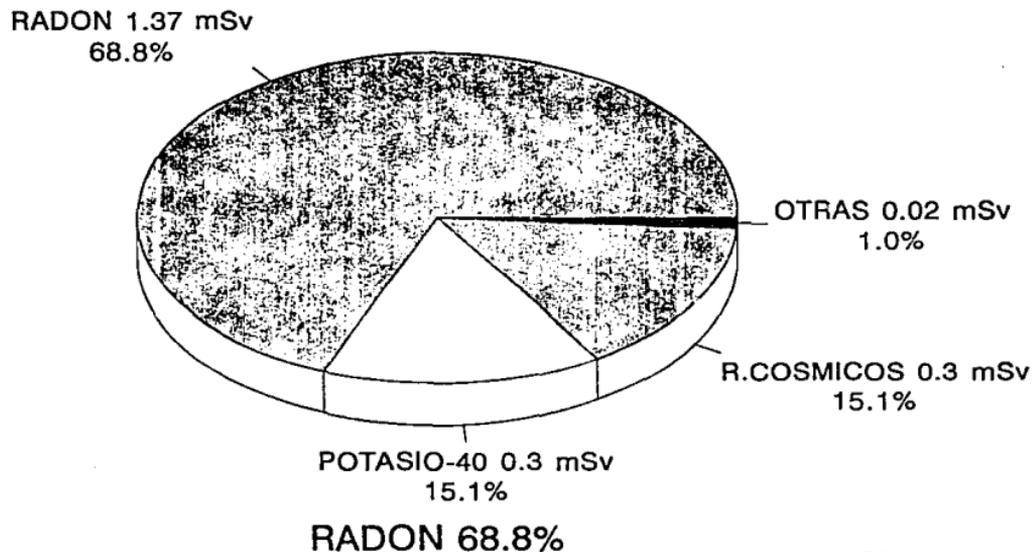
En México, aún cuando se han encontrado bajas concentraciones de radón en interiores de casas habitación (debido al clima y a la continua ventilación de las viviendas), se ha notado un incremento en aquellas que se mantienen cerradas y en las construidas en zonas volcánicas.

Es muy importante medir los niveles de radón ya que nos sirve de indicador para la protección de la población en general.

El Límite Anual de Incorporación del radón por inhalación es de 3.6×10^8 bq (Annual Limit on Intake, A.L.I.)^{2p}. El límite de concentración para trabajadores ocupacionalmente expuestos es de 1500 bq/m^3 y para la población en general es de 400 bq/m^3 .

En la tabla 6 se dan los valores máximos y los valores promedios de las concentraciones del radón en varios países.

FIG 8 DOSIS ANUAL DE RADIACION CHERNOBYL



49

DESPUES DEL ACCIDENTE NUCLEAR

F.B.#1

TABLA 6
Niveles de Radón en Interiores en diferentes Países

País	Promedio Bq/m ³	Máximo Bq/m ³
México D.F. (en estudio)	40	115
U.R.S.S. (zona ND)	60	2000
España (Barcelona)	38	240
Dinamarca	50	12000
Francia (París)	44	12000
Italia (Roma)	36	900
E.U. (Alabama)	90	240
E.U. (Bayertown)	15	69000
Saudiarabia	16	36
Suiza (Lund)	64	850
India (Bombay)	60	450
Egipto (Cairo)	4	12
Egipto (Pirámide de Keops)	4	2550
Iran (Ramsar)	578	3071
Bangladesh (Rajshahi)	100	2600
Argelia	37	2120
Grecia	20	2000
Inglaterra (Londres)	22	16000
Suecia (Estocolmo)	100	20000
Pakistán (Islamabad)	32	83
Alemania	49	6000

1.8 DOSIMETRIA

1.8.1 Aplicaciones

La aplicación de las radiaciones a una práctica requiere de la medición de la dosis de exposición, dosis absorbida, equivalente de dosis o equivalente efectivo de dosis. El conjunto de técnicas utilizadas para llevar a cabo estas mediciones se conoce con el nombre genérico de Dosimetría de la Radiación Ionizante o simplemente Dosimetría.

La dosimetría considera tres aspectos principalmente:

La protección del personal ocupacionalmente expuesto.

La protección del público en general.

La protección del medio ambiente.

La aplicación de la dosimetría a este trabajo tiene como objetivo medir la dosis de exposición gamma (γ) en el aire interior de las casas habitación donde se monitoreó radón.

Las mediciones prácticas se hicieron dentro de las casas habitación para verificar la dosis a la que están expuestos sus moradores, midiendo la ionización del aire producida por radiación electromagnética (rayos X, o rayos γ) en un volumen de aire: los resultados se pueden expresar cuolomb por Kilogramo (c/kg), en miliroentgen (mR) o en mR/h.

Conocer la dosis de exposición permite derivar beneficios de las aplicaciones de la radiación ionizante o de los procesos acompañados por las emisiones de tales radiaciones, reduciendo al mínimo el riesgo y los efectos nocivos para la salud de los individuos, sus descendientes, la población en general y el medio ambiente.

1.8.2 Métodos de Dosimetría

Los métodos de dosimetría varían de acuerdo con el tipo de fuente de radiación; la dosimetría puede considerarse Externa o Interna. Se llama dosimetría externa cuando se cuantifica la irradiación producida por fuentes de radiación fuera del cuerpo, como en el caso de la radiación ambiental.

La dosimetría externa se clasifica a su vez en dosimetría de área, dosimetría personal, dosimetría en caso de accidente y vigilancia radiológica ambiental.

La colocación del dosímetro en el interior de la habitación permite saber si en el lugar existen niveles significativos de radiación (γ) y determinar la dosis que pueden recibir sus ocupantes y si es necesario y posible dar y aplicar medidas de seguridad para eliminar o reducir la dosis de radiación mediante el reforzamiento de medidas físicas de protección u otros procedimientos correctivos.

1.8.3 Dosímetro Utilizado

El tipo de dosímetro ambiental utilizado fué el Dosímetro Termoluminiscente (DTL), ya que cumplen con los siguientes requisitos:

Son pequeños, fáciles de transportar, mecánicamente resistentes y de bajo costo.

El intervalo de respuesta es amplio y abarca las dosis ambientales que se extienden de 0.1 msv a 10 msv.

La respuesta es independiente de la orientación del dosímetro.

La medición de la dosis debida a rayos X o radiación γ no es influenciada por otros tipos de radiación.

El dosímetro no pierde información con el tiempo es decir tiene un desvanecimiento muy bajo.

La respuesta del dosímetro no se ve afectada por cambios en las condiciones ambientales normales es decir es estable.

La lectura del dosímetro es rápida, sencilla, económica y suficientemente exacta. Además se puede volver a utilizar.

Entre los materiales termoluminiscentes, se encuentran el fluoruro de litio (LiF), el borato de litio ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$), y el sulfato de calcio (CaSO_4) a los cuales se les han introducido impurezas para inducir estados metaestables de energía que capturan electrones y forman agujeros. Estas impurezas se llaman activadores porque provocan un marcado aumento en la eficiencia

del fenómeno de TL. La notación utilizada en estos casos consiste en escribir la fórmula del compuesto seguida de dos puntos y el símbolo del elemento que actúa como activador. Por ejemplo y en nuestro caso utilizamos el material TL de sulfato de calcio activado con disprosio, $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$.

Su presentación puede ser en polvo o en diversas formas como discos, barras, cuadros y pastillas (utilizados en este estudio) y pueden ser extruídos o mezclados con ciertos polímeros como el teflón o con algunas sales.

Cuando cristales de estos materiales se exponen a la radiación ionizante parte de los electrones libres y de los agujeros producidos, son capturados por los estados metaestables de energía (trampas), en los cuales estos portadores de carga pueden permanecer atrapados por períodos de meses o aún de años a temperatura ambiente. El calentamiento de los cristales a unos cientos de grados Celsius, libera a los electrones y a los agujeros de sus trampas. Al ser liberados estos electrones y agujeros se recombinan entre sí emitiendo luz. Esta emisión de luz al ser registrada produce una curva llamada "curva TL" la cual puede presentar uno o varios picos y es característica de cada material TL. La cantidad de luz emitida durante el calentamiento es proporcional a la dosis absorbida. Para determinar la dosis se puede medir la cantidad total de luz emitida o bien medir la altura de algunos de los picos de la curva TL.

El equipo de lectura es sencillo, consta de un sistema para calentar los dosímetros en forma controlada y un dispositivo para medir la luz emitida (por lo general un tubo fotomultiplicador) y trasformarla en una señal eléctrica fácilmente integrable.

1.9 SEGURIDAD RADIOLOGICA

1.9.1 Análisis de Riesgo en Seguridad Radiológica

Riesgo a la salud es la probabilidad de daño, la enfermedad o muerte que puede resultar de alguna actividad profesional.

La estimación de riesgo está relacionada con los propósitos individuales, su probabilidad y severidad.

La evaluación del riesgo pretende proporcionar una relación cuantitativa entre dosis de radiación recibida y la probabilidad o posibilidad de efectos de la radiación.

Las posibilidades se emplean para desarrollar y modificar los estándares de exposición a la radiación, que basados en información disponible, plantean un pequeño riesgo comparado con los beneficios obtenidos.

La estimación del riesgo está basada en la extrapolación del riesgo observado debido a grandes dosis y altas razones de dosis y aquellos de bajas dosis a bajas razones de dosis por medio de modelos matemáticos.

La mayor parte de los riesgos estimados publicados se basan en modelos lineales que suponen una sobre estimación del riesgo y, por lo tanto proporciona un límite superior a los riesgos actuales.

Es difícil distinguir entre cáncer inducido por radiación y cáncer inducido por otros factores.

TABLA 7
Riesgo de Inducción de Cáncer Fatal

Cáncer (Organo)	Riesgo
Hueso	0.5 msv ⁻¹
Pulmones	2.0 msv ⁻¹
Tiroides	0.5 msv ⁻¹
Pecho	2.5 msv ⁻¹
Cuerpo Entero	10.0 msv ⁻¹

F. B. #15

EL mayor riesgo del radón o de sus productos de decaimiento para un órgano es en el pulmón siempre y cuando se encuentre dentro de éste.

Las únicas referencias⁴¹ con que se cuenta para establecer un factor de riesgo de cáncer broncopulmonar relacionado con los niveles de radón en interiores de casa habitación, son los resultados de las encuestas epidemiológicas en los mineros del uranio, la aproximación dosimétrica y los resultados de la experimentación con animales.

1.9.2 Encuestas Epidemiológicas

Están basadas principalmente sobre los reportes de exceso de cáncer broncopulmonar observados, en años pasados en varios grupos de mineros, en particular los del uranio, expuestos a concentraciones de radón relativamente elevadas.

Suponiendo una relación lineal (sobrevalorada en cuanto a niveles bajos de exposición), entre la dosis y el efecto, se han podido estimar coeficientes de riesgo, a partir de estas encuestas.

Los valores determinados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) muestran que se puede esperar 300 muertes por cáncer broncopulmonar debidas al radón en una población de un millón de trabajadores que han estado expuestos en el curso de sus vidas a 1 WLM (nivel de trabajo mensual).

La CIPR indica un valor más probable de 150 a 450 casos. Otros grupos de expertos internacionales han dado una estimación de 130 a 730 casos por millón de personas por 1 WLM, existiendo una gran incertidumbre en todas partes.

Estos coeficientes de riesgo solo conciernen a la población de trabajadores particulares que son los mineros del uranio, que además están sometidos a otros componentes de la exposición: rayos gamma e inhalación de partículas radiactivas de vida media larga como el ^{228}U , ^{210}Pb , y el ^{210}Po .

También debe tomarse en cuenta que el cáncer broncopulmonar observado en mineros puede atribuirse a la inhalación de vapores tóxicos, presentes en el aire de la mina, sin olvidar el consumo del tabaco.

1.9.3 Dosimetría Aplicada al Riesgo a la Salud

Está basada en la dosis liberada al pulmón por los descendientes del radón cuando son inhalados por el individuo. Se han elaborado dos modelos dosimétricos del árbol broncopulmonar en los últimos años, tratando de tomar en cuenta parámetros ligados a las características de las partículas inhaladas, la estructura anatómica del árbol broncopulmonar y la fisiología respiratoria. En la práctica, el cálculo de factores de conversión obliga a hacer hipótesis sobre el porcentaje de los descendientes del radón presentes en forma libre, el diámetro aerodinámico medio del aerosol sobre el cual se fijan y la tasa respiratoria del individuo.

A partir de esto podrá ser evaluado el impacto radiológico para un hombre expuesto a radón, en términos de la dosis equivalente efectiva, sea a partir de la concentración de radón o la de sus productos de decaimiento. En el primer caso, se hace una hipótesis suplementaria sobre el factor de equilibrio entre el radón y sus descendientes: dicho factor varía según el grado de ventilación y la concentración de aerosoles naturales en el aire de 0.2 a 0.6 (0.3 a 0.7 en los E.U.), con un valor medio de 0.5. Para evaluar la exposición anual debe tomarse en cuenta el tiempo medio de estancia de un individuo en interiores de habitaciones, (del 85% al 90% dentro de estas).

Sobre la base de los modelos dosimétricos actuales, el equivalente efectivo de dosis anual para una persona de una ciudad o población en general es de 0.1 msv por 1 Bq/m^3 de radón en equilibrio con sus descendientes; y aún todavía de 0.05 msv por 1 Bq/m^3 , si suponemos un factor de equilibrio de 0.5.

Aplicando estos factores de conversión a los resultados que se obtuvieron de las campañas de medición efectuadas en las casas habitación, se estima que la dosis anual está comprendida entre 1 y 2.5 msv para los pobladores de Europa, recibiendo un porcentaje mayor la población en general y es alrededor de 20 msv al año, según esta misma hipótesis.

1.9.4 Riesgo a la Salud

Esta parte está bien desarrollada por la Comisión de Energía Atómica de Francia para el estudio de los efectos carcinogénicos del radón y está en buen acuerdo con los resultados de las encuestas epidemiológicas en los mineros. Las tasas de exposición muy elevadas limitan sin embargo su extrapolación al ser humano. Combinando los resultados de las encuestas epidemiológicas y las aproximaciones dosimétricas y teniendo en cuenta los factores de corrección (influencia de cofactores en la población de mineros, diferente a la de la población en general), la CIPR propone un modelo de riesgo proporcional para diferentes condiciones de exposición de la población.

1.9.5 Modelos Lineales de Riesgo

La aproximación de riesgo relativo conduce a una relación lineal del tipo:

$$R_r/R_o = 0.028 + 0.006 C_{eq}$$

Donde el cociente R_r/R_o representa el exceso de riesgo relativo de cáncer broncopulmonar en la vida de una población expuesta a una concentración media de radón al equilibrio (1 Bq/m^3), en relación a una población de referencia en edad y sexo, compuesta de fumadores y de no fumadores y donde la tasa de aparición de cáncer espontáneo es R_o .

El primer término constante de esta relación traduce el riesgo atribuido al tiempo que permanece fuera de su propia casa habitación.

Si se admite esta relación, el exceso de riesgo correspondiente a un nivel medio de radón (de 10 a 20 Bq/m^3 al equilibrio), se alcanzará alrededor de 10 a 15% en relación a una población hipotética no expuesta; o sea del 10 al 15% de cáncer broncopulmonar sería atribuible a los efectos del radón, pudiendo variar el porcentaje según el país en función de la proporción de fumadores y del nivel medio de exposición.

Con este análisis, el problema de los niveles elevados de radón en casas habitación, ha puesto en evidencia el riesgo de cáncer

broncopulmonar para la población en general.

TABLA 8

Comparación del Riesgo para la Salud contra
las concentraciones de radón en aire
pCi/l Riesgo de muerte por cáncer pulmonar

2000	> 76 veces normal
200	75 veces normal
40	30 veces normal
20	15 veces normal
4	3 veces normal

Normal: Promedio nacional de incidencia de cáncer pulmonar
en no fumadores.

Otra relación simplificada para la estimación para el total de
muertes por cáncer en los E.U. debido al radón en interiores es la
siguiente:

$$M_r = 0.004 \text{ vL} * T * 0.003 \text{ vLM} * R_r * R_{cp} * P_T$$

Donde: 0.004 vL es el promedio de por vida nivel de productos de
decaimiento del radón en interiores.

T es el tiempo promedio del morador dentro del interior de
la habitación y se calcula de la siguiente manera:

$T = (0.85 \text{ a } 0.90) * (73.8 - 10) * 365 * 24 = 475 \text{ a } 650 \text{ hr/vida}$
donde 73.88 es el tiempo de vida promedio en años de la
persona y 10 son los años mínimo donde la persona no
presenta síntomas de cáncer.

0.003 vLM es el factor de conversión de vL a vLM.

R_r es el riesgo relativo por tiempo de vida de exposición
al radón por vLM y su valor va del 1% al 4%.

R_{cp} es el promedio anual fundamental de base por tiempo de
vida por persona de riesgo de padecer cáncer pulmonar y es
igual a $4.584 * 10^{-4}$ (en E.U.).

P_T es la población total en los E.U.

El cáncer y enfermedades cardiovasculares son las principales causas de muerte en los E.U. y el alto consumo de cigarro contribuyen significativamente a un alto índice de mortalidad. Como se puede ver el radón no es un serio problema de salud pública comparado con el alcoholismo, mala nutrición o con el consumo de cigarros en términos anuales de mortalidad. Pero sí es evidente, que si se lograra controlar los niveles de radón en interiores abajo de 150 Bq/m^3 y también los producidos por la contaminación del aire, se lograría un beneficio en términos de costos de medicamentos, de mantenimiento y de operación. se podría sólo reducir el cáncer broncopulmonar en personas no-fumadoras, (que ha sido base de comparación con las enfermedades mencionadas anteriormente).

Capítulo 2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Método Seleccionado

El método seleccionado para detectar el radón lo hace a través de sus productos de decaimiento en el aire y es el de MONITOREO CONTINUO DE RADON EN NIVELES DE TRABAJO (CWLM). El equipo es de la EBERLINE y consta de una unidad muestreadora modelo WLM-1A y otra unidad lectora modelo WLR-1A.

La unidad muestreadora (WLR-1A) está compuesta por un microprocesador modelo CMOS, un detector semiconductor de silicio de barrera superficial y una bomba de succión para hacer pasar un flujo de aire a través de un filtro y es operado por una batería recargable. La unidad trabaja automáticamente y es previamente programada por medio de la unidad WLR-1A pudiendo muestrear hasta por una semana en forma continua. La bomba de succión trabaja pasando un flujo de aire de 0.12 a 0.18 l/min y depositando las partículas con radón y sus hijos sobre un un filtro. Estos elementos emiten partículas α que son registradas por el detector, el microprocesador almacena los datos para los intervalos de tiempo programados, controla el flujo de aire de la bomba, su encendido y su apagado y después que la bomba ha sido apagada, el detector registra el decaimiento.

El equipo está provisto de un algoritmo para dar una estimación rápida de niveles de trabajo, basado en los intervalos de muestreo. También cuenta con un algoritmo que predice la concentración de hijos de radón en WL basado en una medición en un tiempo de 180 minutos (modo predictivo).

La unidad WLM-1A se recarga con la unidad WLR-1A o bien con un cargador de baterías modelo BC-WLM. La unidad lectora (WLR-1A) se utiliza además para programar intervalos de tiempo de muestreo, para recuperar e imprimir los datos almacenados en su memoria. El equipo detecta desde $2 \cdot 10^{-5}$ WL hasta $1 \cdot 10^2$ WL.

El método se seleccionó por la ventaja de tener tiempos cortos de medición y obtener los datos rápidamente.

Adicionalmente se utilizarán Dosímetros Termoluminiscentes (TL) de $\text{CaSO}_4: \text{Dy} + \text{PTFE}$ para detectar la radiación γ .

2.1.1 Descripción del Equipo

UNIDAD MUESTREADORA

Modelo	WLM-1A
Peso	2.6 kg
Dimensiones	14.6 cm altura*11.75 cm ancho*20.3 cm largo
Energía de Consumo	6 V. 6 amp.h con celda gel
Tiempo de recarga	con WLR-1A o BC-WLM hasta 24 hrs.
Tiempo de operación	1 semana máximo de período de muestreo
Sensibilidad	2×10^{-5} vL mínimo, 1×10^2 vL máximo
Temperatura	0° a 43°C
Flujo Ajustable	0.12 a 0.18 l/min
Detector	Diodo de Silicio de estado sólido

UNIDAD LECTORA

Modelo	WLR-1A
Peso	6.8 kg
Dimensiones	35.6 cm altura*20 cm ancho*15.2 cm largo
Energía de Consumo	117 v. 60 Hz, 0.25 amp.
Temperatura	10° a 49°C

CARGADOR DE BATERIAS

Modelo	BC-WLM 6750M
Peso	0.75 kg
Dimensiones	10 cm altura*6 cm ancho*17 cm largo
Consumo de Energía	120 v +/- 10% , 57-63 Hz
Temperatura	0° a 49°C

2.2 Metodología

Las medidas de investigación se hicieron de 24 horas continuas en condiciones de CASA NORMAL y en la habitación donde los moradores pasan más tiempo.

Las condiciones de Casa Normal son las siguientes: las puertas y ventanas de la habitación seleccionada se mantendrán abiertas o cerradas, así como también manteniendo la ventilación natural o

artificial (si la hubiera) funcionando respetando los hábitos y costumbres de los moradores.

La unidad WLM-1A se programó para trabajar 24 horas continuas necesitando 1 hora antes de que trabaje la bomba, para que el detector funcione midiendo fondo y después del apagado de la bomba 4 horas más para que el detector haga mediciones al extremo, que suman un total de 29 horas de trabajo por cada casa muestreada, iniciando a las 5 horas del día, a las 6 horas empieza a trabajar la bomba y termina a las 6 horas del otro día y a las 10 horas se recoge la unidad y se recuperan los datos.

La unidad se colocó a una altura de 70 a 75 cm del piso al orificio de succión de la unidad.

En el plano 1 se muestra la ubicación de las 25 viviendas muestreadas dentro de la delegación.

Los dosímetros termoluminiscentes (DTL) se colocarán (plano 2) en la misma habitación, a una altura de 1.8 a 2.0 m respecto al piso, por un periodo de tres meses, cambiandolos y obteniendo sus registros cada mes.

2.2.1 Encuesta

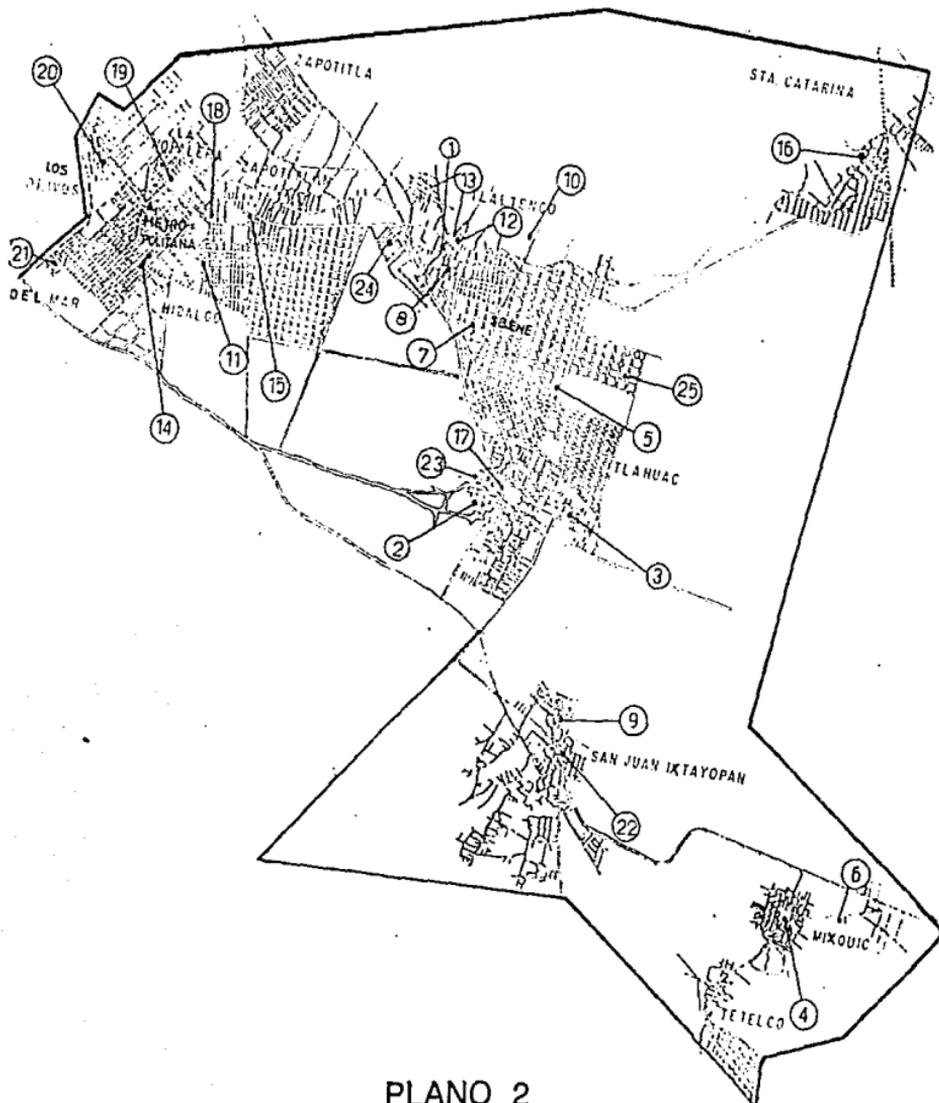
Se elaboró un cuestionario para conocer la rutina diaria que usualmente presentan los moradores en su vida y disponer de datos como los hábitos, costumbres y tipo de vivienda donde se efectuaron las mediciones y correlacionarlo con los niveles de trabajo que reporta el equipo.

El cuestionario aportó datos como: el número de personas (niños y adultos) que viven en la casa, si utilizan calefacción en época de frío y de que tipo, si se generan humos alrededor de la casa y cuales serian las posibles causas así como los de su cocina, tipo de combustible que utiliza su estufa u horno, tipo de aceite usado en sus guisos, cuantas veces cocinan al día, si se irritan sus ojos al cocinar, si los adultos o jóvenes fuman cigarrros, puros o pipas y cuantos al día, si en su trabajo están expuestos a humos y de que tipo.

En relación con los materiales de construcción de la vivienda aportó datos como: tipo de ventanas, si se mantienen abiertas o cerradas y durante cuantos tiempo, si la casa es unifamiliar o

COLOCACION DE DOSIMETROS (DTL)

CaSO₄:DY+PTFE



PLANO 2

departamento en edificio, si cuentan con sótano, si su construcción fué hecha en base de piedra volcánica, varillas, cemento, tabicón, tabique o ladrillo, si sus paredes cuentan con acabados y de que tipo, si la casa cuenta con ventilación natural o artificial, y en que año se construyó o si ha sufrido cambios en su estructura.

La mayoría de las 25 casas habitación seleccionadas fueron construidas con materiales en base de cemento, varilla, ladrillo y tabicón en sus diferentes presentaciones, en la última década y todas distribuidas en la mayoría de las poblaciones y colonias que conforman la delegación política de Tláhuac.

2.3 Control de Calidad

2.3.1 Control de Calidad Integral

El control de calidad integral es importante en varios aspectos, como el hacer mediciones estandarizadas para que las medidas sean reproducibles y poder estimar cuantitativamente las variaciones asociadas con los resultados de las medidas.

También es muy importante que a las lecturas se les aplique un control de calidad, para asegurar que los datos obtenidos están científicamente fundados y sean de precisión conocida, para dar la confiabilidad y credibilidad necesaria.

A los resultados de los muestreos se les aplicó un análisis de Control Estadístico de Calidad con el método de Límites de Control Superior e Inferior, así como la obtención de promedios Aritméticos y Geométricos.

2.3.2 Calibración del Detector y del Flujo de la Bomba

Para esto se incluyó en el programa de control de calidad medidas de calibración del equipo. El equipo trae un certificado de calibración pero se realizaron calibraciones periódicas, tanto del flujo del aire de la bomba como de la eficiencia del detector.

La calibración de flujo en la bomba se hizo cada mes en cada período de trabajo.

La calibración del contador se hizo después de cada 5 casa muestreadas, incluyendo mediciones de Blancos y mediciones por Duplicado.

El programa de control de calidad incluyó también medidas de Blancos y medidas por Duplicado o Repeticiones.

2.3.3 Medición de Blancos

Estas mediciones se hicieron en el exterior de una sola casa. en el patio o jardín en un medio ambiente común y son medidas que contienen menor concentración de radón y se programaron al inicio y después de cada medición por duplicado o repetición.

2.3.4 Mediciones por Duplicado o Repetición

Estas mediciones se hicieron cada un tercio del total de casas a monitorear. en este caso fueron después de cada 8 muestras y nos sirven para estimar la precisión de nuestros resultados. Se hicieron 25 monitoreos, 4 mediciones de blancos y 3 mediciones por duplicado, dando un total de 32 muestras para su estudio.

2.4 Delegación Política de Tláhuac

2.4.1 Características Geográficas y Climáticas

La delegación de Tláhuac se encuentra al suereste del Distrito Federal y representa el 6.74% del área del D.F.

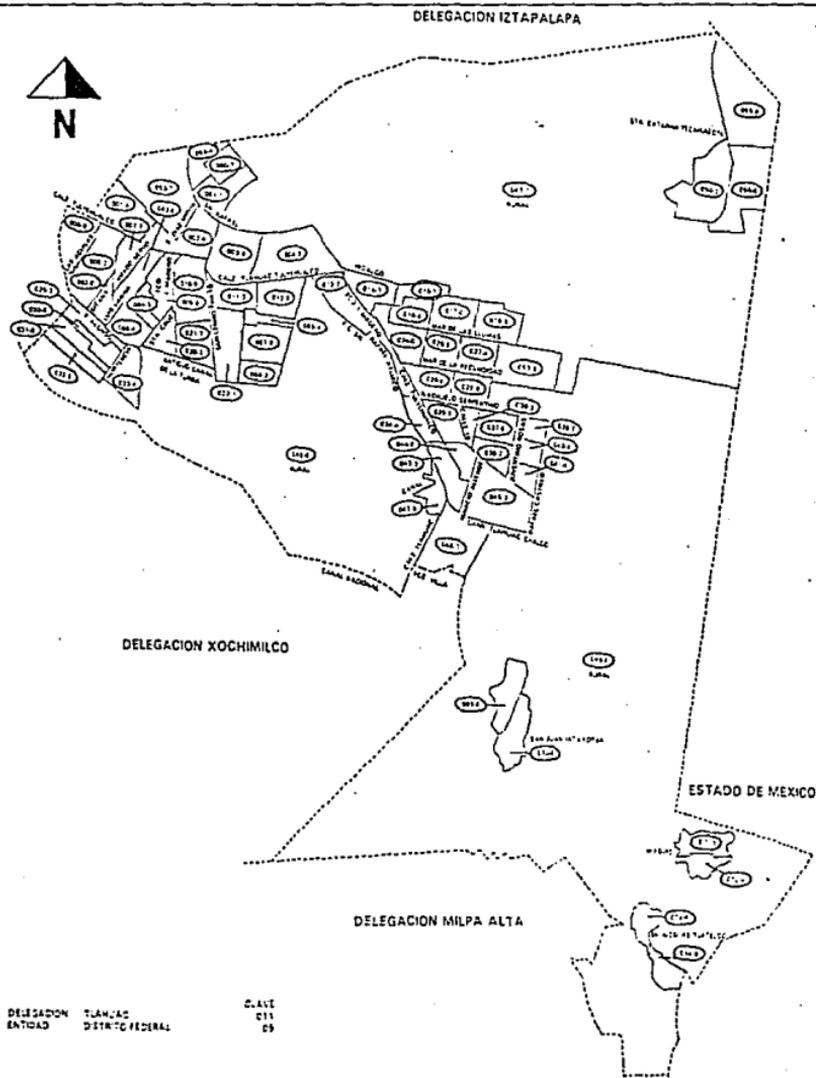
Colinda al norte con la delegación de Iztapalapa; al este con los municipios de Ixtapaluca y Chalco Estado de México, al sur con la delegación Milpa Alta y al oeste con las delegaciones Xochimilco e Iztapalapa (plano 3).

La delegación está constituida por 2044 manzanas distribuidas en 76 áreas geoestadísticas básicas de las cuales 72 son urbanas y 4 rurales. Las localidades principales son: San Andres Mixquit, San Nicolas 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.

El área de la delegación es de 92 Km² y cuenta con una población estimada de 220 000 habitantes, con una densidad poblacional

DELEGACION POLITICA DE TLAHUAC

DISTRIBUCION GEOESTADISTICA

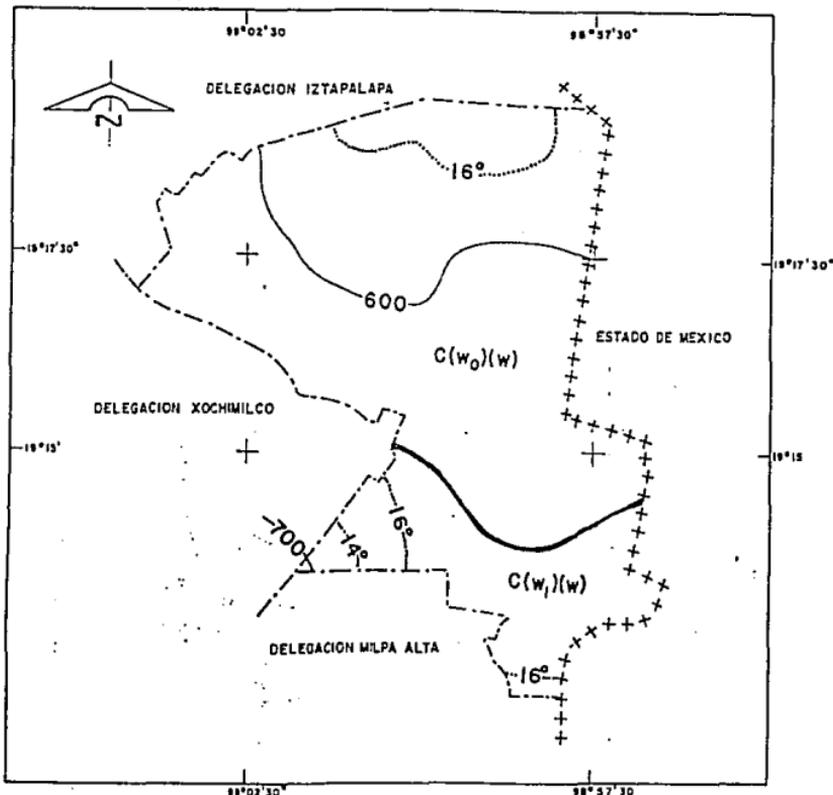


DELEGACION TLAHUAC
 ENTIDAD DISTRICTO FEDERAL

C. A. G. E.
 C 11
 D 9

PLANO 3

Isotermas e Isoyetas Climas



SIMBOLOGIA

ESCALA 1:98000



TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	16°	
PRECIPITACION TOTAL ANUAL (m.m.)	600	
LIMITE DELEGACIONAL	-----	
LIMITE ESTATAL	+++	
TEMPLADO SUBHUMEDO CON BAJO GRADO DE HUMEDAD	$C(w_0)(w)$	
SEMIFRIO SUBHUMEDO CON MODERADO MODERADO	$C(w_1)(w)$	
GRADO DE HUMEDAD		
LIMITE CLIMATICO	-----	

PLANO 4

promedio de 120 habitantes por hectárea.

La zona habitacional cubre un 15.74% del área total y un 79.04% lo cubre la zona ecológica; el área restante de 5.22% es de espacios abiertos, equipamiento y mixtos.

El clima predominante en la delegación es un clima templado subhúmedo con grado bajo de humedad "C(W_o)W" (plano 4); su temperatura media anual es de 16°C una precipitación pluvial de 600 a 800 mm anuales.

Para un mejor estudio en cuanto a las características geográficas de la delegación se dividió en dos partes; Zona norte que abarca un 75% de la superficie de la delegación y tiene un clima templado con grado bajo de humedad "C(W_o)W", tiene un promedio de 600 a 700 mm de precipitación pluvial anual, una temperatura media anual de 16°C y una altura con respecto al nivel del mar de 2235 m (plano 4). La zona norte abarca las localidades de Tláhuac, Tlaltenco, Sta. Catarina, Zapotitlán, Los Olivos, La Nopalera, Agrícola Metropolitana, Miguel Hidalgo y la colonia Del Mar.

La Zona sur que abarca el 25% de la superficie total de la delegación tiene un clima templado subhúmedo con moderado grado de humedad "C(W_o)W", tiene un promedio de 700 a 800 mm de precipitación pluvial anual, una temperatura media anual de 14 a 16°C y se encuentra a una altura respecto al nivel del mar de 2290 m aproximadamente, y abarca las localidades de Sn Juan Ixtayopan, Tetélcó y Mixquic.

En la mayor parte de la delegación ocasionalmente se presentan heladas en la época de invierno.

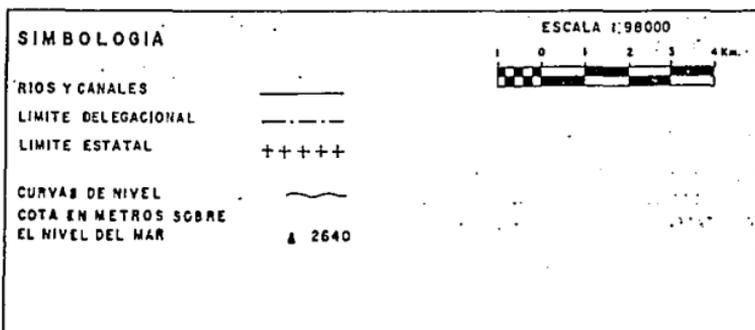
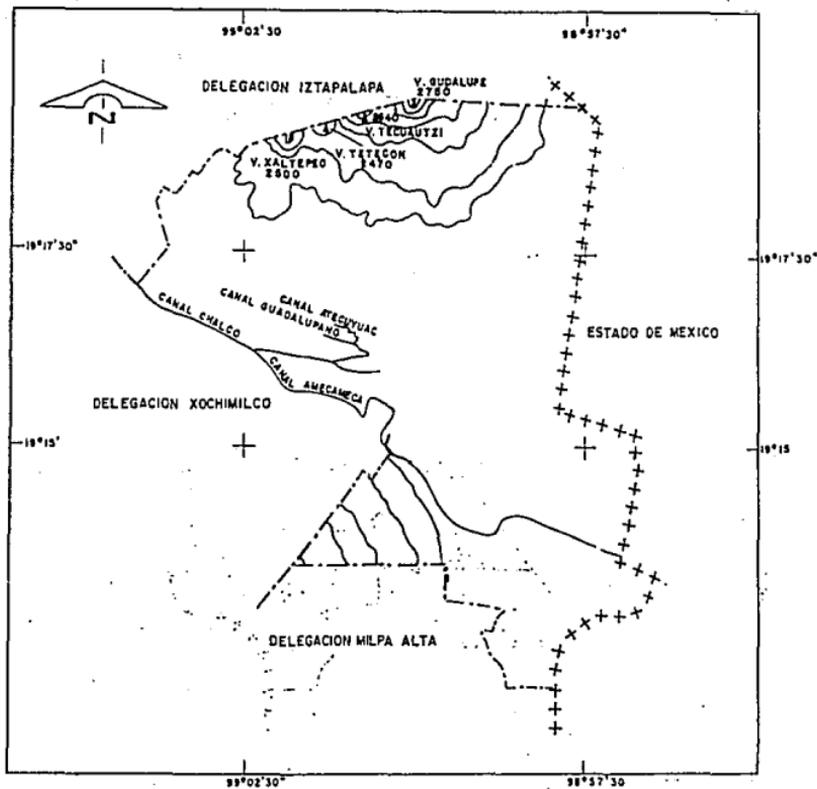
La menor precipitación promedio se presenta en los meses de Enero-Febrero con 100 mm.

La mayor precipitación promedio se presenta en los meses de Julio-Agosto con 800 mm.

La temperatura máxima promedio que se presenta es de 27 °C y se presenta en los meses de Marzo-Abril

La temperatura mínima promedio que se presenta es de 3 °C y se presenta en los meses de Diciembre-Enero.

Hidrografía Orografía



PLANO 5

2.4.2 Hidrografía y Orografía

La hidrografía de la delegación la constituyen únicamente los ríos de Atecuyac, río Guadalupano, río de Chalco y el río de Amecameca que están totalmente canalizados en forma subterránea. El poblado de Tláhuac cuenta con un pequeño lago; los pueblos de Mixquic, Ixtayopan, Tlaltenco y Zapotitlan cuentan aún con canales que intercomunican sus chinampas y se pueden ver en plano 5. Respecto a la orografía en la parte norte de la delegación se encuentra la Sierra de Santa Catarina que está formada por pequeños volcanes inactivos el más alto es el volcán de Guadalupe y tiene una altura de 2750 metros sobre el nivel del mar, y en la parte sur de la delegación se encuentra una parte del volcán del Teutli que tiene una altura de 2750 m snm y que también es un volcán inactivo.

2.4.3 Estratigrafía

Como se mencionó anteriormente, el D.F. se ha dividido en tres zonas con diferente tipo de suelos, y la delegación de Tláhuac abarca los tres (plano 6).

La ubicación de las casas monitoreadas solo abarca dos tipos de zona; la zona de Transición y la zona de Lagos ya que en la zona de cerros no se colocó ningún dosímetro y tampoco se monitoreó al radón.

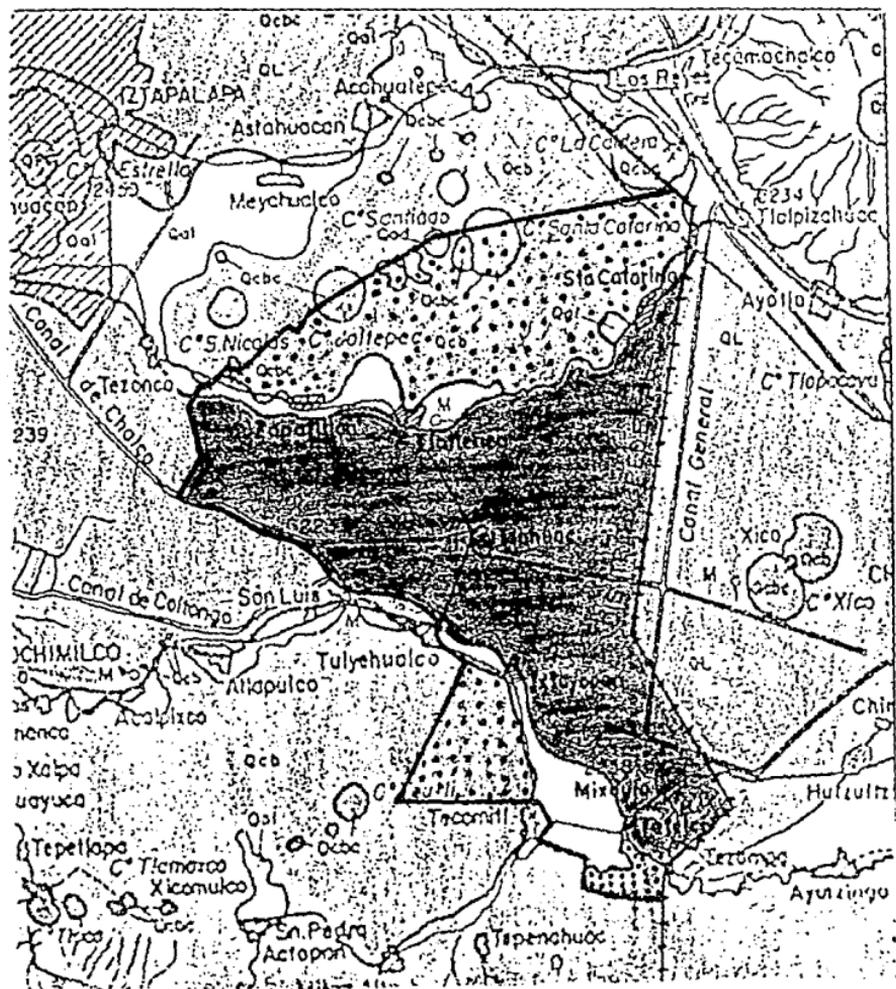
La zona de Transición es un suelo con materiales arcillosos de poco espesor, intercalados con minerales sedimentarios más resistentes (Depósitos Aluviales).

Dentro de esta zona quedan las casas ubicadas en: Tlaltenco, Zapotitlán, Ixtayopan y Santa Catarina.

La zona de Lagos está compuesta por depósitos de arcillas blandas de alta compresibilidad que antiguamente fué área lacustre (Depósitos Lacustres).

En esta zona quedan comprendidas las casas ubicadas en: Tláhuac, Mixquic, La Nopalera, Miguel Hidalgo, Los Olivos, Del Mar, Agrícola Metropolitana, Selene y Ampliación Selene.

DISTRIBUCION DE ZONAS TIPOS DE SUELO



ZONA DE CERROS



ZONA DE TRANSICION
PLANO 6



ZONA DE LAGOS

Capítulo 3 RESULTADOS

3.1 Costumbres y Hábitos de los Moradores

De los datos obtenidos a partir de la encuesta se cuenta con la siguiente información:

Los hábitos y costumbres de los moradores de las casas muestreadas son:

En total son 117 personas de las cuales 85 son adultas y 32 son menores de 16 años.

De las 85 personas adultas el 36% fuma de 3 a 4 cigarrillos al día en promedio.

De las 25 casa 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 poco humo y el 8% no genera humo mientras cocinan, el 100% utiliza aceite vegetal y además un 36% utiliza manteca animal.

Respecto a la calefacción el 8% tiene estufa y el 4% tiene chimenea, estos datos se pueden apreciar en la tabla 9.

3.1.1 Características y Tipo de Vivienda

De las 25 casas el 96% son unifamiliares y el restante 4% se encuentra en un condominio en el primer piso o segundo nivel.

De las casa unifamiliares el 48% cuenta con dos plantas, planta baja o primer nivel y primer piso o segundo nivel y el 52% con sólo un nivel.

Las 25 viviendas cuentan con ventanas individuales de las cuales el 64% las mantiene abiertas las 24 horas del día, el 32% las mantiene abierta entre 8 y 16 horas del día (semiabiertas) y sólo el 4% las mantiene cerradas las 24 horas del día.

En cuanto a la ventilación de las viviendas el 100% tiene ventilación natural y el 40% también cuenta con ventilación artificial.

El año en que fueron construidas varía de la siguiente manera: el 4% fué contruida el siglo pasado, el 4% entre 1900 y 1950, el 16% entre los años 1950 y 1969, el 36% entrte los años de 1970 y

**TABLA 9 COSTUMBRES Y HABITOS DE LOS MORADORES
TODOS LOS MORADORES UTILIZAN GAS L.P.**

NUMERO DE HABITANTES		FUMADORES		HUMOS(GENERACION)	CALEFACCION	ACEITE PARA		COCINAR	
ADULTOS	NIÑOS	ANTES	HOY	COCINA	SALA	CTMO	AJLI	GRSL	MTC A
4	0	SI	SI(4c/d)	POCO	NO	SI	SI	SI	SI
4	0	SI	NO	POCO	NO	SI	NO	SI	NO
5	0	NO	NO	POCO	NO	SI	NO	SI	SI
4	2	NO	NO	POCO	NO	SI	SI	SI	NO
2	2	NO	NO	NUNCA	NO	SI	NO	NO	NO
8	4	NO	NO	POCO	NO	SI	SI	SI	NO
3	2	SI	SI(14c/d)	POCO	ESTUFA	SI	SI	SI	SI
4	2	NO	NO	POCO	NO	SI	SI	SI	NO
2	2	NO	NO	POCO	NO	NO	NO	SI	SI
2	2	NO	NO	POCO	NO	SI	SI	NO	NO
4	0	NO	NO	POCO	NO	SI	SI	NO	NO
2	1	NO	SI(5c/d)	POCO	NO	SI	NO	SI	SI
2	0	NO	NO	POCO	NO	SI	NO	NO	NO
5	3	SI	SI(8c/d)	POCO	NO	SI	NO	NO	NO
5	0	NO	NO	POCO	CHIMENEA	SI	NO	NO	NO
5	0	NO	SI(4c/d)	POCO	ESTUFA	SI	NO	NO	NO
2	2	SI	SI(3c/d)	POCO	NO	SI	SI	NO	NO
7	0	NO	NO	POCO	NO	SI	NO	NO	NO
2	0	SI	NO	POCO	NO	SI	NO	NO	NO
4	2	SI	SI(6c/d)	NUNCA	NO	SI	NO	NO	NO
2	2	SI	SI(6c/d)	POCO	NO	SI	NO	NO	NO
4	3	NO	NO	POCO	NO	NO	NO	SI	SI
3	0	SI	SI(8c/d)	POCO	NO	SI	NO	NO	SI
4	0	NO	NO	POCO	NO	SI	NO	SI	SI
4	3	SI	NO	POCO	NO	SI	NO	NO	SI

74

c/d:cigarrillo por día CTMO:cártamo AJLI:ajonjolí GRSL:girasol MTC A:manteca

TABLA 10 TIPO Y CARACTERISTICAS DE LAS CASAS HABITACION
AÑO Y TIPO DE VIVIENDA

MUESTRA #	TIPO		VENTANAS INDIVIDUALES			VENTILACION		CONSTRUCCION	COLOCACION
	UFAM	MFAM	ABTA	SEMAB	COA	NATL	ARTIF	AÑO	CWLM Y DOSIMETRO
1	*1*		***			***	***	50-69	RECAMARA
2	*1*		***			***		70-79	SALA
3	*2*		***			***		80-93	COMEDOR 1er PISO
4	*2*		***			***		80-93	SALA PTA BAJA
5	*1*		***			***	***	70-79	RECAMARA
6	*2*		***			***		70-79	SALA PTA BAJA
7	*2*		***			***		70-79	RECAMARA PTA BAJA
8	*1*		***			***	***	1900-49	SALA
9	*2*		***			***		80-93	SALA PTA BAJA
10	*2*		***			***		80-93	COSINA PTA BAJA
11	*2*		***			***		80-93	SALA PTA BAJA
12	*2*		***			***		1900-49	RECAMARA 1er PISO
13	*1*				***	***		<1900	SALA
14	*1*			***		***		80-93	RECAMARA
15	*2*		***			***		70-79	SALA PTA BAJA
16	*1*			***		***	***	70-79	SALA
17	*2*		***			***		80-93	RECAMARA 1er PISO
18	*1*		***			***	***	70-79	SALA
19		*2*		***		***	***	80-93	SALA
20	*1*			***		***	***	70-79	SALA
21	*1*			***		***		80-93	SALA
22	*2*			***		***	***	50-69	SALA
23	*1*		***			***	***	50-69	SALA
24	*2*			***		***	***	50-69	SALA
25	*1*			***		***		70-79	SALA

TODAS LAS CASA SIN SOTANO *1*UNA PLANTA *2*DOS PLANTAS

1979, el 36% entre los años de 1980 y 1993 las cuales no se encuentran totalmente terminadas (tabla 10).

Los materiales para la construcción de la obra negra fueron los siguientes: el 96% utilizó para sus cimientos cemento, varilla de acero, roca volcánica y el restante 4% sólo utilizó roca volcánica y adobe.

En la paredes el 84% utilizó únicamente tabicón, además hay un 28% que lo combinó con ladrillo rojo, el 4% utilizó ladrillo hueco refractario (condominio), hay un 4% que utilizó una combinación de tabicón y tabla roca y el restante 16% utilizó únicamente roca volcánica y adobe.

En cuanto a los recubrimientos de las paredes el 80% utilizó yeso del cual el 20% lo recubrió con papel tapiz, el 24% utilizó parcial o totalmente madera.

En lo que respecta al piso el 96% utilizó cemento, grava y arena, el restante 4% tiene piso de roca volcánica sobrepuesta (construida en el siglo pasado).

Para el recubrimiento del piso el 36% tiene loseta, 16% tiene mosaico, el 8% tiene azulejo, el 4% tiene madera y el restante 36% lo tiene al desnudo (tabla 11).

Sólo una vivienda (4%) presentó techo de lámina de asbesto.

3.1.2 Condiciones de Trabajo del Equipo WLM-1A y Resultados Promedio Obtenidos

En la tabla 12 se presentan las condiciones en que operó la unidad muestreadora, fecha (del 31 de Mayo al 1 de Agosto de 1993) de colocación, flujo de operación de la bomba que fué de 0.1371 l/min y 0.1330 l/min, que se encuentran dentro del rango que establece el fabricante, la eficiencia del contador que va desde un 23% a un 24.2% que también se encuentra dentro del rango aceptado, habitación donde se colocó la unidad y el resultado promedio reportado en wL con su porcentaje de error.

En la tabla 13 se reportan la colocación del WLM-1A dentro de la vivienda: el 80% de las veces se colocó en el primer nivel (planta baja) y el 20% en el segundo nivel (primer piso). En la planta baja el 60% fueron salas, el 16% fueron recámaras y un 4%

TABLA 11 CARACTERISTICAS DE LAS VIVIENDAS MATERIALES DE CONSTRUCCION

MUESTRA #	CONCRETO	PIEDRA VOLCANICA	TABICON	TABIQUE ROJO	MADERA	YESO	TAPIZ	OTROS
1	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	LOSETA MOSAICO
2	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	MOSAICO
3	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	MOSAICO
4	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	MOSAICO
5	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	
6	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	LOSETA
7	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	ADOBE LOSETA
8	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	
9	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	LOSETA
10	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	
11	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	ADOBE
12	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	ADOBE
13	NO	SI	NO	NO	SI	NO	NO	LOSETA MARMOL
14	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	LOSETA
15	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	AZULEJO
16	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	TABLAROCA LOSETA
17	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	LOSETA
18	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	AZULEJO
19	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO	
20	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	LAMINA DE ASBESTO
21	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	LOSETA
22	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	
23	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	
24	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
25	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	

77

SOLO UNA VIVIENDA EN MULTIFAMILIAR (#19)

TABLA 12 SECUENCIA DE MUESTREO
CONDICIONES DEL EQUIPO EMPLEADO Y RESULTADOS PROMEDIO

MUESTRA #	FECHA 1993	COLOCACION DEL EQUIPO CWLM, DTL	RESULTADO PROMEDIO WL	FLUJO BOMBA l/min	EFICIENCIA CONTADOR %	CONSTANTE DE CALIBRACION cpm	FONDO WL
1	31 MAYO-1 JUNIO	RECAMARA PLTA BAJA	5.89 E-3 +/- 9.28%	0.1371	23.70	577	2.63 E-4
2	2 AL 3 JUNIO	SALA PLTA BAJA	1.01 E-3 +/- 6.7%	0.1371	23.70	577	1.24 E-4
3	4 AL 5 JUNIO	COMEDOR 1er PISO	3.00 E-3 +/- 8.22%	0.1371	23.70	577	2.10 E-4
4	6 AL 7 JUNIO	SALA PLTA BAJA	9.43 E-4 +/- 7.52%	0.1371	23.70	577	6.66 E-5
5	8 AL 9 JUNIO	RECAMARA PLTA BAJA	1.43 E-3 +/- 6.05%	0.1371	23.70	577	6.66 E-5
6	10 AL 11 JUNIO	SALA PLTA BAJA	7.00 E-4 +/- 9.03	0.1371	23.70	577	6.66 E-5
7	12 AL 13 JUNIO	RECAMARA PLTA BAJA	1.10 E-3 +/- 6.91%	0.1371	23.70	577	2.89 E-5
8	18 AL 19 JUNIO	SALA PLTA BAJA	1.20 E-3 +/- 7.16%	0.1371	24.20	580	5.66 E-5
9	20 AL 21 JUNIO	SALA PLATA BAJA	1.05 E-3 +/- 7.15%	0.1371	24.20	580	5.66 E-5
10	22 AL 23 JUNIO	COSINA PLTA BAJA	2.06 E-3 +/- 5.01%	0.1371	24.20	580	2.86 E-5
11	25 AL 25 JUNIO	SALA PLTA BAJA	9.95 E-4 +/- 7.17%	0.1371	24.20	580	8.49 E-5
12	30 JUNIO-1 JULIO	RECAMARA 1er PISO	6.59 E-4 +/- 9.07%	0.1371	23.42	570	1.17 E-4
13	2 AL 3 JULIO	SALA PLTA BAJA	1.27 E-3 +/- 6.56%	0.1371	23.42	570	6.76 E-5
14	4 AL 5 JULIO	RECAMARA PLTA BAJA	6.65 E-4 +/- 5.41%	0.1371	23.42	570	8.76 E-5
15	7 AL 8 JULIO	SALA PLTA BAJA	1.01 E-3 +/- 7.65%	0.1330	23.42	570	5.65 E-5
16	9 AL 10 JULIO	SALA PLTA BAJA	6.45 E-4 +/- 9.22%	0.1330	23.51	555	3.00 E-5
17	11 AL 12 JULIO	RECAMARA 1er PISO	1.00 E-3 +/- 7.43%	0.1330	23.51	555	6.00 E-5
18	13 AL 14 JULIO	SALA PLTA BAJA	9.96 E-4 +/- 7.43%	0.1330	23.51	555	6.00 E-5
19	19 AL 20 JULIO	SALA 1er PISO	6.55 E-4 +/- 8.16%	0.1330	23.33	551	1.21 E-4
20	21 AL 22 JULIO	SALA PLTA BAJA	1.88 E-3 +/- 5.54%	0.1330	23.33	551	6.05 E-5
21	23 AL 24 JULIO	SALA PLTA BAJA	1.15 E-3 +/- 6.93%	0.1330	23.33	551	9.06 E-5
22	25 AL 26 JULIO	SALA 1er PISO	1.57 E-3 +/- 6.08%	0.1330	23.33	551	6.05 E-5
23	27 AL 28 JULIO	SALA PLTA BAJA	2.03 E-3 +/- 5.20%	0.1330	23.33	551	1.62 E-4
24	29 AL 30 JULIO	SALA PLTA BAJA	1.41 E-3 +/- 6.21%	0.1330	23.96	565	5.90 E-5
25	31 JULIO-1 AGOSTO	SALA PLTA BAJA	6.51 E-4 +/- 8.06%	0.1330	23.96	565	2.95 E-5

78

TODAS LAS MUESTRAS CON %TORON INSIGNIFICANTE

DELEGACION TLAHUAC

TABLA 13 UBICACION DE ACUERDO AL TIPO DE SUELO DE LA UNIDAD LECTORA
RESULTADOS PROMEDIO

MUESTRA #	LUGAR	TIPO DE ZONA	COLOCACION	FECHA 1993	PROMEDIO WL	FONDO WL
1	MIXQUIC	LAGOS	RECAMARA PTA BAJA	31 MAYO AL 1 JUNIO	5.69 E-3	2.63 E-4
2	TLAHUAC	LAGOS	SALA PTA BAJA	2 AL 3 JUNIO	1.01 E-3	1.24 E-4
3	IXTAYOPAN	TRANSICION	COMEDOR 1er PISO	4 AL 5 JUNIO	3.00 E-3	2.10 E-4
4	TLALTENCO	TRANSICION	SALA PTA BAJA	6 AL 7 JUNIO	9.43 E-4	8.66 E-5
5	DEL MAR	LAGOS	RECAMARA PTA BAJA	8 AL 9 JUNIO	1.43 E-3	8.66 E-5
6	TLAHUAC	LAGOS	SALA PTA BAJA	10 AL 11 JUNIO	7.00 E-4	8.66 E-5
7	TLAHUAC	LAGOS	RECAMARA PTA BAJA	12 AL 13 JUNIO	1.10 E-3	2.89 E-5
8	SANTA CATARINA	TRANSICION	SALA PTA BAJA	18 AL 19 JUNIO	1.20 E-3	5.66 E-5
9	TLALTENCO	LAGOS	SALA PTA BAJA	20 AL 21 JUNIO	1.05 E-3	5.66 E-5
10	LA NOPALERA	LAGOS	COCINA PTA BAJA	22 AL 23 JUNIO	2.06 E-3	2.83 E-5
11	ZAPOTITLAN	TRANSICION	SALA PTA BAJA	24 AL 25 JUNIO	9.95 E-4	8.89 E-5
12	LOS OLIVOS	LAGOS	RECAMARA 1er PISO	30 JUNIO AL 1 JULIO	6.59 E-4	1.17 E-4
13	TLALTENCO	TRANSICION	SALA PTA BAJA	2 AL 3 JULIO	1.27 E-3	8.78 E-5
14	TLALTENCO	TRANSICION	RECAMARA PTA BAJA	4 AL 5 JULIO	8.65 E-4	8.78 E-5
15	A. METROPOLITANA	LAGOS	SALA PTA BAJA	7 AL 8 JULIO	1.01 E-3	5.85 E-5
16	M. HIDALGO	LAGOS	SALA PTA BAJA	9 AL 10 JULIO	6.45 E-4	3.00 E-5
17	TLALTENCO	LAGOS	RECAMARA 1er PISO	11 AL 12 JULIO	1.00 E-3	6.00 E-5
18	TLALTENCO	TRANSICION	SALA PTA BAJA	13 AL 14 JULIO	9.98 E-4	6.00 E-5
19	ZAPOTITLAN	TRANSICION	SALA 1er PISO	19 AL 20 JULIO	8.55 E-4	1.21 E-4
20	SELENE	LAGOS	SALA PTA BAJA	21 AL 22 JULIO	1.66 E-3	6.05 E-5
21	TLAHUAC	LAGOS	SALA PTA BAJA	23 AL 24 JULIO	1.15 E-3	9.08 E-5
22	AMP. SELENE	LAGOS	SALA 1er PISO	25 AL 26 JULIO	1.57 E-3	6.05 E-5
23	IXTAYOPAN	TRANSICION	SALA PTA BAJA	27 AL 28 JULIO	2.03 E-3	1.82 E-4
24	TLALTENCO	LAGOS	SALA PTA BAJA	29 AL 30 JULIO	1.41 E-3	5.90 E-5
25	MIXQUIC	LAGOS	SALA PTA BAJA	31 JULIO AL 1 AGOSTO	8.51 E-4	2.95 E-5

MUESTRAS # 1 A 9 EN PRIMAVERA

Y DE 10 A 25 EN VERANO

79

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

en cocina (una casa). En el primer piso el 8% fueron salas, el 8% en recámaras y el 4% en un comedor.

La tabla 13 también reporta el tipo de zona donde se localizan las casas muestreadas.

En zona de Lagos quedaron un 64% de las muestras y dieron un promedio de 0.00146 WL.

En zona de Transición quedaron un 36% de las muestras con un promedio de 0.00135 WL.

Tomando en cuenta la variación del clima en las estaciones del año, el 36% de las casa se muestrearon en Primavera presentando un promedio de 0.0018137 WL.

Y para el Verano se muestrearon el 64% de las casas presentando un promedio de 0.001202 WL.

Las condiciones de trabajo para el equipo con los blancos y los duplicados se presentan en las tablas 14 y 15 respectivamente; el flujo de la bomba fué de 0.1371 y 0.1330 l/min y la eficiencia del contador tuvo una variación de un 23.51% a 24.29% para los blancos.

Para los duplicados el flujo fué de 0.1330 a 0.1371 l/min y la eficiencia del contador varió de 23.51% a 24.29%. Todos los valores dentro de las especificaciones requeridas.

3.2 Control Estadístico

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

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

El objetivo de este control de calidad, es indicar si existen datos en los cuales se presentó algún anormalidad, 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 (x-r), que se aplicó en cada una de las muestras, blancos y duplicados en forma individual, y

**TABLA 14 SECUENCIA DE MUESTREO DE BLANCOS
CONDICIONES DEL EQUIPO Y RESULTADOS PROMEDIO EN WL**

BLANCO #	LUGAR 4ª MUESTRA	FECHA	PROMEDIO WL	CONSTANTE DE CALIBRACION	FLUJO DE LA BOMBA l/min	EFICIENCIA CONTADOR %
1	TLALTENCO	29 AL 30 MAYO	9.94 E-4 +/- 7.24%	5.77 E+2	0.3171	23.76
2	TLALTENCO	16 AL 17 JUNIO	7.42 E-4 +/- 8.99%	5.77 E+2	0.1371	23.76
3	TLALTENCO	28 AL 29 JUNIO	4.02 E-4 +/- 11.5%	5.89 E+2	0.1371	24.29
4	TLALTENCO	17 AL 18 JULIO	8.24 E-4 +/- 8.18%	5.55 E+2	0.1330	23.51

TODOS LOS BLANCOS CON % DE TORON INSIGNIFICANTE
LOS BLANCOS SE TOMARON EN LA CASA DE LA MUESTRA # 4

12

**TABLA 15 SECUENCIA DE MUESTREO DUPLICADOS
CONDICIONES DEL EQUIPO Y RESULTADOS PROMEDIO EN WL**

DUPLICADO #	LUGAR	FECHA	PROMEDIO WL	CONSTANTE DE CALIBRACION	FLUJO DE LA BOMBA l/min	EFICIENCIA CONTADOR %
1 (MUESTRA 8)	SANTA CATARINA	14 AL 15 JUNIO	8.34 E-4 +/-8.2%	577	0.1371	23.76
2 (MUESTRA 11)	ZAPOTITLAN	26 AL 27 JUNIO	6.29 E-4 +/- 9.11%	589	0.1371	24.29
3 (MUESTRA 18)	TLALTENCO	15 AL 16 JULIO	1.02 E-4 +/- 7.69%	570	0.1330	23.51

TODOS LOS DUPLICADOS CON % DE TORON INSIGNIFICANTE

los gráficos media-rango ($\bar{x}-r$), que se aplicó en las muestras, blancos y duplicados en forma de grupo.

Las ventajas de aplicar el control estadístico son:

Detección de variaciones anormales

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

En la tabla 16 se dan las fórmulas para el cálculo de los Límites de Aceptación tanto Superior como Inferior, conociendo cual es la contribución de los valores del extremo en el tiempo de muestreo en cada una de las casa ya sea muestra, blanco o duplicado.

En la tabla 17 se da un ejemplo de la secuencia que se debe seguir para calcular Límites Superior e Inferior para las muestras en este caso se utilizó la muestra #4.

La tabla 18 muestra los Límites Superior e Inferior de Control para cada una de las 25 casa muestreadas así como su Promedio.

La tabla 19 reporta los Límites Superior e Inferior para los blancos y los duplicados, también se reporta su promedio individual.

La tabla 20 muestra los promedios y Límites de Aceptación calculados por el método media-rango tanto para las muestras, como blancos y duplicados.

La figura 9 muestra el comportamiento de los niveles de radón de las muestras (cada valor horario en el promedio de las 25 casas), blancos y duplicados las 24 horas del día en el interior de las viviendas, incluyendo 4 horas de los valores al extremo tomando como referencia la media de los promedios.

La figura 10 muestra el comportamiento de los niveles de radón únicamente para las muestras con sus Límites de Aceptación y su Media y la figura 11 muestra el comportamiento de los niveles de radón para los blancos y duplicados con sus respectivas Medias y Límites de Aceptación.

La figura 12 muestra el histograma de frecuencias de los resultados de las 25 casas muestreadas. La selección fué de 8 intervalos de clase que es $1/3$ aproximadamente de las muestras. La gráfica de barras que se obtuvo tiende a agruparse hacia las concentraciones bajas en un 84% de los datos que son menores de

TABLA 16

CALCULO DE LOS LIMITES DE CONTROL CON EL INT. DEL EXTREMO

PARA CONOCER CUAL ES LA CONTRIBUCION DEL EXTREMO QUE SE DEBE SUMAR AL PROMEDIO DE LOS DATOS DEL MUESTREO SE DEBE APLICAR LAS SIGUIENTES FORMULAS

$B=0.5$, Y $D=0.0208333$
 LA CONTRIBUCION AL EXTREMO ES $\Sigma X/48$

$$X_c = X_s + (\Sigma X/48)$$

SUBINDICES
 C, CON INTERVALO DEL EXTREMO
 S, SIN INTERVALO DEL EXTREMO

PARA APLICAR LAS FORMULAS SE DEBE UTILIZAR LOS SIGUIENTES DATOS
 PROMEDIO GENERAL (X_c) CON INTERVALO DEL EXTREMO
 PROMEDIO PARCIAL (X_s) SIN INTERVALO DEL EXTREMO
 SUMATORIA DE LOS 8 DATOS DEL EXTREMO (ΣX)
 24 HORAS MONITOREADAS

PARA LOS RANGOS SE DEBE EMPLEAR EL FACTOR "D" Y EL DE "48"
 PARA CONOCER LA CONTRIBUCION QUE SE DEBE SUMAR AL
 PROMEDIO DE LOS RANGOS DE LOS DATOS DEL MUESTREO

$$r_c = \bar{r} + (\Sigma r/48)$$

FORMULAS PARA CALCULAR LOS LIMITES

$LSC_x c = \text{PROM}_x c + A_x r(\text{PROM}_r c)$
 $LIC_x c = \text{PROM}_x c - A_x r(\text{PROM}_r c)$
 $LSC_r c = D_{rs} (\text{PROM}_r c)$
 $LIC_r c = D_{ri} (\text{PROM}_r c)$

$A_x r$, D_{rs} , D_{ri} SON CONSTANTES QUE SE
 UTILIZAN PARA DETERMINAR LOS LIMITES
 DE CONTROL 3σ DE LOS GRAFICOS DE
 x Y r A PARTIR DEL PROM_r

NOTA

CUANDO EL % DE TORON ES INSIGNIFICANTE

TABLA 17

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS LIMITES DE CONTROL PARA LA MUESTRA #4
DATO-RANGO (x-r)

PERIODO DEL 8 AL 7 DE JULIO 1993 WL prom=0.000943 +/-7.52% FONDO=0.000868 %TORON INSIGNIFICANTE

DATOS DEL INTERVALO DE MUESTREO
TIEMPO CONCENTRACION RANGO

(hrs).	x. s. (WL)	r. s.
6:00	0.000462	-----
7:00	0.000722	0.000260
8:00	0.000664	0.000058
9:00	0.000520	0.000144
10:00	0.000963	0.000173
11:00	0.000607	0.000086
12:00	0.000635	0.000028
13:00	0.001040	0.000405
14:00	0.000491	0.000549
15:00	0.000895	0.000404
16:00	0.000924	0.000029
17:00	0.000924	0.0
18:00	0.001040	0.000116
19:00	0.001010	0.000030
20:00	0.000982	0.000026
21:00	0.001160	0.000178
22:00	0.001070	0.000090
23:00	0.000693	0.000377
0:00	0.000722	0.000029
1:00	0.000924	0.000202
2:00	0.000953	0.000029
3:00	0.001170	0.000117
4:00	0.000982	0.000088
5:00	0.001270	0.000288

DE LA TABLA DE FACTORES PARA DETERMINAR LOS LIMITES DE CONTROL 3σ DE LOS GRAFICOS x Y r A PARTIR DEL Prom. r.

n=2
Ax.r=2.66 NOTA
Dr sup.=3.27 LOS FACTORES SE BASAN EN
Dr inf.=0 UNA DISTRIBUCION NORMAL

LIMITE SUPERIOR DE CONTROL
LSCx = Prom x - Ax.r(Prom r)
LSCr = Dr sup(Prom r)

LIMITE INFERIOR DE CONTROL
LICx = Prom x - Ax.r(Prom r)
LICr = Dr inf(Prom r)

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS LIMITES PARA EL INTERVALO DE MUESTREO

$\Sigma x.s=0.020453$ $\Sigma r.s=0.003706$
Prom x.s=0.000852 Prom
r.s=0.000161
 σ n=0.000218
 σ n-1=0.000223

LSCx.s=0.000852+2.66(0.000161)=0.001280
LICx.s=0.000852-2.66(0.000161)=0.000424

LSCr.s=3.27(0.000161)=0.000526
LICr.s=0(0.000161)=0

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS LIMITES PARA EL INTER. DE MUESTREO CON EL EXTREMO

INTERVALO DEL EXTREMO

	x. c.	r. c.
6:00	0.001040	-----
6:30	0.001210	0.000170
7:00	0.000520	0.000690
7:30	0.000347	0.000173
8:00	0.000289	0.000058
8:30	0.000289	0.0
9:00	0.000462	0.000173
9:30	0.000231	0.000231

$\Sigma x.c=0.004388$ $\Sigma r.c=0.001495$
 $\Sigma x.c/48=0.00009142$ $\Sigma r.c/48=0.000031$

Prom x.c=Prom x.s+ $\Sigma x.c/48$
Prom r.c=Prom r.s+ $\Sigma r.c/48$
Prom x.c=0.000091+0.000852=0.000943
Prom r.c=0.000031+0.000161=0.000192
LSCx.c=0.000943+2.66(0.000192)=0.001454
LICx.c=0.000943-2.66(0.000192)=0.000432

LSCr.c=3.27(0.000192)=0.000628
LICr.c=0(0.000192)=0

TABLA 18 LIMITES DE CONTROL PARA LAS MUESTRAS CWLM (DATO-RANGO)

LSC: LIMITE SUPERIOR DE CONTROL LIC: LIMITE INFERIOR DE CONTROL

MUESTRA #	PROM x.s	PROM r.s	LSC x.s	LIC x.s	LSC r.s	LIC r.s	PROM x.c	PROM r.c	LSC x.c	LIC x.c	LSC r.c	LIC r.c
1	0.005783	0.000640	0.007487	0.004083	0.002093	0	0.005491	0.000655	0.008233	0.004749	0.002142	0
2	0.000751	0.000559	0.000908	0.000594	0.000193	0	0.000984	0.000060	0.001097	0.000831	0.000164	0
3	0.002821	0.000306	0.003835	0.002007	0.001000	0	0.003222	0.000321	0.004078	0.002368	0.001050	0
4	0.000852	0.000161	0.001260	0.000424	0.000526	0	0.000843	0.000192	0.001454	0.000432	0.000628	0
5	0.001314	0.000195	0.001841	0.000787	0.000847	0	0.001433	0.000228	0.002039	0.000826	0.000628	0
6	0.000591	0.000201	0.001126	0.000056	0.000857	0	0.000701	0.000231	0.001315	0.000066	0.000755	0
7	0.001290	0.000738	0.003252	0.000674	0.002413	0	0.001416	0.000782	0.003443	0.000811	0.002492	0
8	0.001174	0.000126	0.001509	0.000839	0.000412	0	0.001269	0.000150	0.001866	0.000870	0.000491	0
9	0.000922	0.000143	0.001302	0.000542	0.000468	0	0.001052	0.000195	0.001571	0.000533	0.000638	0
10	0.001878	0.000503	0.003216	0.000540	0.001645	0	0.002063	0.000555	0.003539	0.000587	0.001815	0
11	0.000916	0.000174	0.001379	0.000453	0.000569	0	0.000995	0.000195	0.001514	0.000476	0.000638	0
12	0.000592	0.000123	0.000919	0.000265	0.000402	0	0.000859	0.000152	0.001083	0.000255	0.000497	0
13	0.001132	0.000356	0.002079	0.000185	0.001164	0	0.001275	0.000385	0.002299	0.000251	0.001259	0
14	0.000722	0.000169	0.001171	0.000272	0.000553	0	0.000788	0.000200	0.001320	0.000256	0.000654	0
15	0.000832	0.000226	0.001433	0.000231	0.000870	0	0.001010	0.000253	0.001883	0.000337	0.000827	0
16	0.000589	0.000159	0.001012	0.000166	0.000520	0	0.000846	0.000242	0.001289	2.000000E-08	0.000791	0
17	0.000905	0.000266	0.001613	0.000197	0.000870	0	0.001000	0.000293	0.001779	0.000221	0.000958	0
18	0.000905	0.000220	0.001490	0.000320	0.000719	0	0.000996	0.000250	0.001663	0.000333	0.000817	0
19	0.000757	0.000266	0.001470	0.000044	0.000878	0	0.000854	0.000293	0.001633	0.000075	0.000958	0
20	0.001539	0.000255	0.002217	0.000881	0.000834	0	0.001750	0.000307	0.002587	0.000933	0.001004	0
21	0.001051	0.000229	0.001660	0.000440	0.000749	0	0.001147	0.000266	0.001880	0.000434	0.000876	0
22	0.001310	0.000431	0.002456	0.000163	0.001409	0	0.001514	0.000527	0.002916	0.000112	0.001723	0
23	0.001863	0.000359	0.002818	0.000908	0.001174	0	0.002029	0.000387	0.003058	0.000999	0.001265	0
24	0.001271	0.000237	0.001901	0.000641	0.000775	0	0.001412	0.000279	0.002154	0.000669	0.000912	0
25	0.000757	0.000192	0.001266	0.000246	0.000628	0	0.000846	0.000217	0.001425	0.000271	0.000710	0

UNIDADES: WL

s: SIN INT. DEL EXTREMO

c: CON INT. DEL EXTREMO

TABLA 19 LÍMITES DE CONTROL PARA LOS BLANCOS Y DUPLICADOS CWLM (DATO -RANGO)

LSC: LÍMITE SUPERIOR DE CONTROL

LIC: LÍMITE INFERIOR DE CONTROL

BLANCO #	PROM x.s	PROM r.s	LSC x.s	LIC x.s	LSC r.c	LIC r.c	PROM x.c	PROM r.c	LSC x.c	LIC x.c	LSC r.c	LIC r.c
1	0.000911	0.000232	0.001528	0.000294	0.000758	0	0.000986	0.000272	0.001710	0.000262	0.000889	0
2	0.000580	0.000122	0.001005	0.000355	0.000399	0	0.000746	0.000142	0.001124	0.000366	0.000464	0
3	0.000366	0.000134	0.000722	0.000010	0.000438	0	0.000414	0.000171	0.000869	0.000041	0.000559	0
4	0.000748	0.000190	0.001253	0.000243	0.000621	0	0.000824	0.000233	0.001444	0.000204	0.000762	0
DUPLICADO #												
1	0.000707	0.000131	0.001055	0.000358	0.000428	0	0.000854	0.000204	0.001397	0.000311	0.000687	0
2	0.000566	0.000196	0.001059	0.000047	0.000641	0	0.000829	0.000220	0.001214	0.000044	0.000719	0
3	0.000846	0.000183	0.001333	0.000359	0.000593	0	0.001020	0.000324	0.000964	0.000759	0.001059	0

UNIDADES: WL

s: SIN INT. DEL EXTREMO

c: CON INT. DEL EXTREMO

TABLA 20 PROMEDIOS Y LIMITES DE CONTROL (MEDIA-RANGO)

LSC: LIMITE SUPERIOR DE CONTROL LIC: LIMITE INFERIOR DE CONTROL

	PROM x.c	PROM r.c	LSC x.c	LIC x.c	LSC r.c	LIC r.c
MUESTRAS	0.001464	0.006295	0.002427	0.000501	0.009701	0.002889
BLANCOS	0.000746	0.000667	0.001232	0.000259	0.001522	0
DUPLICADOS	0.000826	0.000578	0.001417	0.000235	0.001488	0

UNIDADES WL x.c: PROMEDIO CON INT. DEL EXTREMO r.c: RANGO CON INT. DEL EXTREMO

TABLA 21 CALCULO DE LAS MEDIAS ARITMETICAS Y GEOMETRICAS

		n
MEDIA ARITMETICA $X = (X.1 + X.2 + X.3 + \dots + X.n) / n$	MUESTRAS	25
	BLANCOS	4
MEDIA GEOMETRICA $a = (a.1 * a.2 * a.3 * \dots * a.n)^{1/n}$	DUPLICADOS	3

<p>M. ARIT. $X = (0.00589 + 0.00101 + 0.003 + 0.000943 + 0.00143 + 0.0007 + 0.0011 + 0.0012 + 0.00105 + 0.00206 + 0.000995 + 0.00559 + 0.00127 + 0.000865 + 0.00101 + 0.00645 + 0.001 + 0.000998 + 0.000855 + 0.00186 + 0.00115 + 0.00157 + 0.00203 + 0.00141 + 0.000851) / 25 = 0.001422$</p> <p>M. GEOM. $a = (0.00589 * 0.00101 * 0.003 * 0.000943 * 0.00143 * 0.0007 * 0.0011 * 0.0012 * 0.00105 * 0.00206 * 0.000995 * 0.000659 * 0.00127 * 0.000865 * 0.00101 * 0.000645 * 0.001 * 0.000998 * 0.000855 * 0.00186 * 0.00115 * 0.00157 * 0.00203 * 0.00141 * 0.000851)^{1/25} = 0.001224$</p>	<p>M. ARITMETICA</p> <p>MUESTRA 0.001422 +/- 7.17</p> <p>BLANCOS 0.000741 +/- 8.98</p> <p>DUPLICADOS 0.000828 +/- 8.33</p>	<p>M. GEOMETRICA</p> <p>0.001224</p> <p>0.000703</p> <p>0.000812</p> <p>unidades WL</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------

TABLA 22

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS LIMITES DE CONTROL PARA EL PROMEDIO DE LAS MUESTRAS. MEDIA-RANGO (x-r)

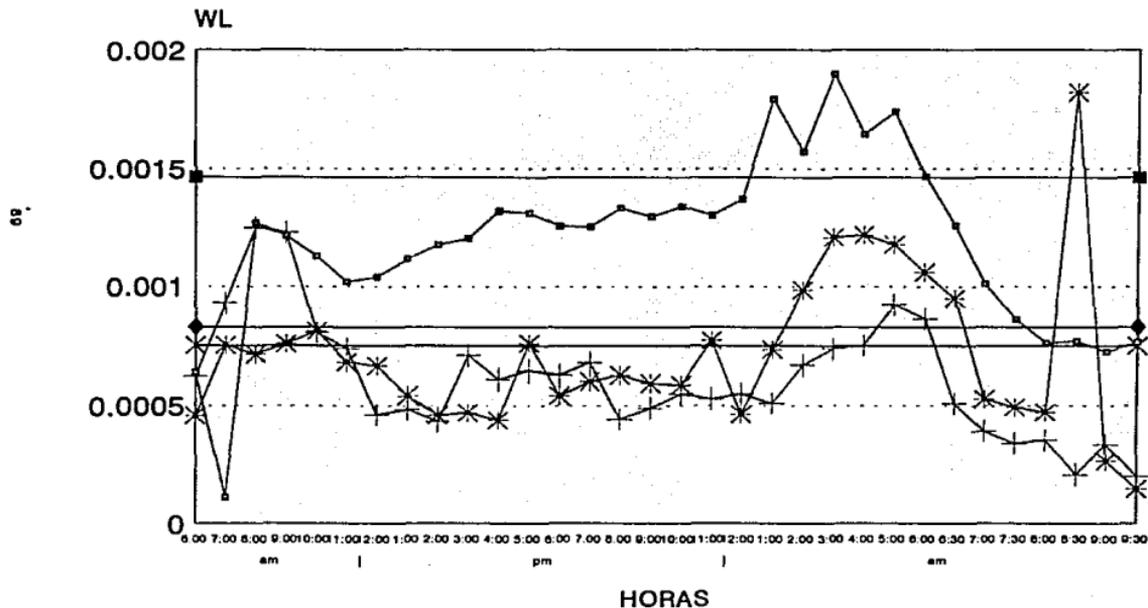
TIEMPO (hrs)	PROMEDIO x.s (WL)	RANGO (r.s) V.máx-V.mfn	DE LA TABLA DE FACTORES PARA DETERMINAR LOS LIMITES DE CONTROL DE LOS GRAFICOS x Y r.
6:00	0.000633	0.001412	$n=25$ $Axr=0.153$ LOS FACTORES SE BASAN EN $Drs=1.541$ $Drl=0.459$ UNA DISTRIBUCION NORMAL
7:00	0.001109	0.002609	
8:00	0.001269	0.003120	LIMITE SUPERIOR DE CONTROL $LSCx.s = Prom\ x.s + Axr(Prom\ r.s)$ $LSCr.s = Drs(Prom\ r.s)$
9:00	0.001265	0.002402	
10:00	0.001129	0.003541	LIMITE INFERIOR DE CONTROL $LICx.s = Prom\ x.s - Axr(Prom\ r.s)$ $LICr.s = Drl(Prom\ r.s)$
11:00	0.001019	0.004720	
12:00	0.001040	0.005800	CALCULO DE LOS LIMITES. INT. DE MUESTREO $Prom\ x.s = 0.001306$ $Prom\ r.s = 0.005628$ $Cm = 0.000268$ $C1 = 0.000274$
13:00	0.001117	0.007181	
14:00	0.001178	0.008186	$LSCx.s = 0.001306 + 0.153(0.005629)$ $LSCr.s = 0.002167$ $LSCr.s = 1.541(0.005629) = 0.008674$ $LICx.s = 0.001306 - 0.154(0.005629)$ $LICr.s = 0.000439$ $LICr.s = 0.459(0.005629) = 0.002584$
15:00	0.001205	0.008100	
16:00	0.001319	0.008033	CALCULO DE LOS LIMITES. INT. DE MUESTREO DEL EXTRTEMO $Prom\ x.c = Prom\ x.s + (\Sigma\ x.c/48)$ $(\Sigma\ x.c/48) = 0.000158$ $Prom\ r.c = Prom\ r.s + (\Sigma\ r.c/48)$ $(\Sigma\ r.c/48) = 0.000666$
17:00	0.001312	0.008152	
18:00	0.001257	0.008328	$Prom\ x.c = 0.001306 + 0.000158 = 0.001464$ $Prom\ r.c = 0.005629 + 0.000666 = 0.006295$ $LSCx.c = Prom\ x.c + Axr(Prom\ r.c)$ $LICx.c = Prom\ x.c - Axr(Prom\ r.c)$
19:00	0.001255	0.007766	
20:00	0.001333	0.007939	$LSCr.c = Drs(Prom\ r.c)$ $LICr.c = Drl(Prom\ r.c)$ $LSCx.c = 0.001464 + 0.153(0.006295)$ $LSCr.c = 0.002427$ $LICx.c = 0.001464 - 0.153(0.006295)$ $LICr.c = 0.000501$
21:00	0.001296	0.006669	
22:00	0.001339	0.006170	$LSCr.c = 1.541(0.006295) = 0.009701$ $LICr.c = 0.459(0.006295) = 0.002889$
23:00	0.001302	0.006173	
0:00	0.001370	0.005625	SUBINDICES: s: SIN INT. DEL EXTREMO c: CON INT. DEL EXTREMO
1:00	0.001791	0.007060	
2:00	0.001575	0.004707	
3:00	0.001896	0.004282	
4:00	0.001648	0.003696	
5:00	0.001739	0.003414	

VALORES AL EXTREMO

	x.c	r.c
6:00	0.001468	0.003725
6:30	0.001260	0.003861
7:00	0.001012	0.004041
7:30	0.000859	0.004290
8:00	0.000757	0.004170
8:30	0.000766	0.003896
9:00	0.000721	0.003780
9:30	0.000762	0.004190

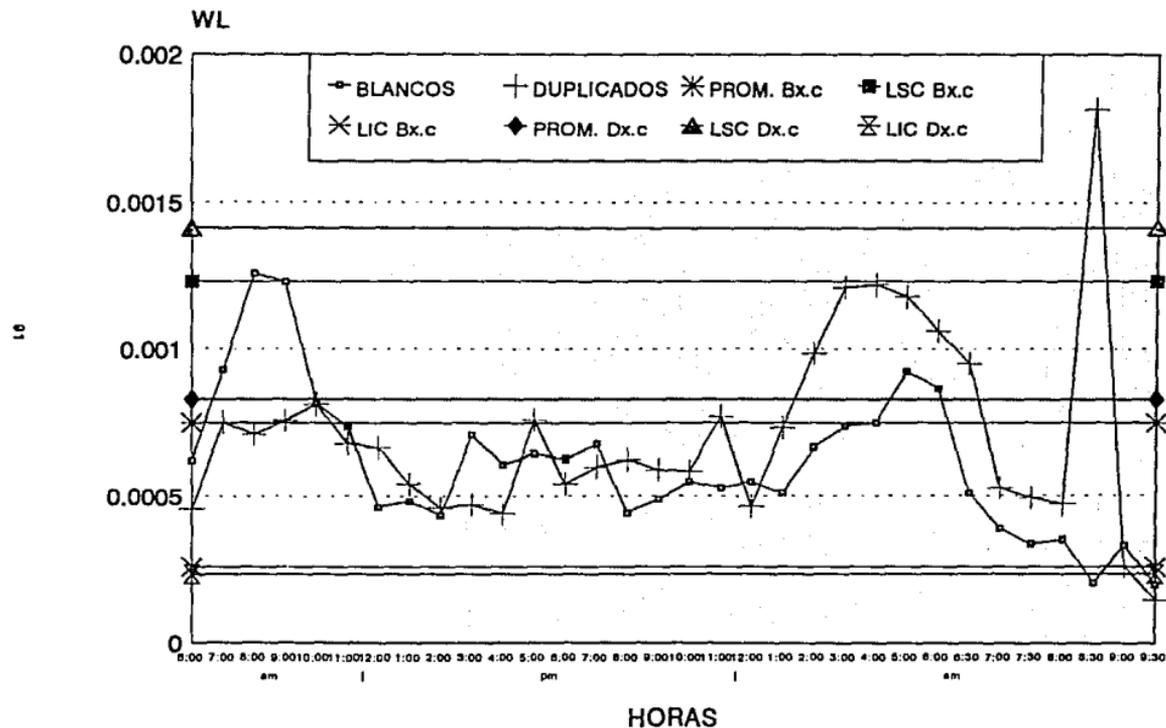
FIG 9 LECTURAS PROMEDIO HORARIAS Y VALORES AL EXTREMO(25CASAS)
 PROMEDIO TOTAL DE MUESTRAS, BLANCOS Y DUPLICADOS

◻ LECTURA MUESTRA + LECTURA BLANCOS * LECTURA DUPLICADOS ■ PROM. MUESTRA × PROM. BLANCOS ◆ PROM. DUPLICADOS



28 HORAS DE MUESTREO
 CONDICIONES DE CASA NORMAL

FIG 11 LIMITES DE CONTROL PARA EL PROMEDIO DE BLANCOS Y DUPLICADOS
CON VALORES AL EXTREMO (MEDIA-RANGO)

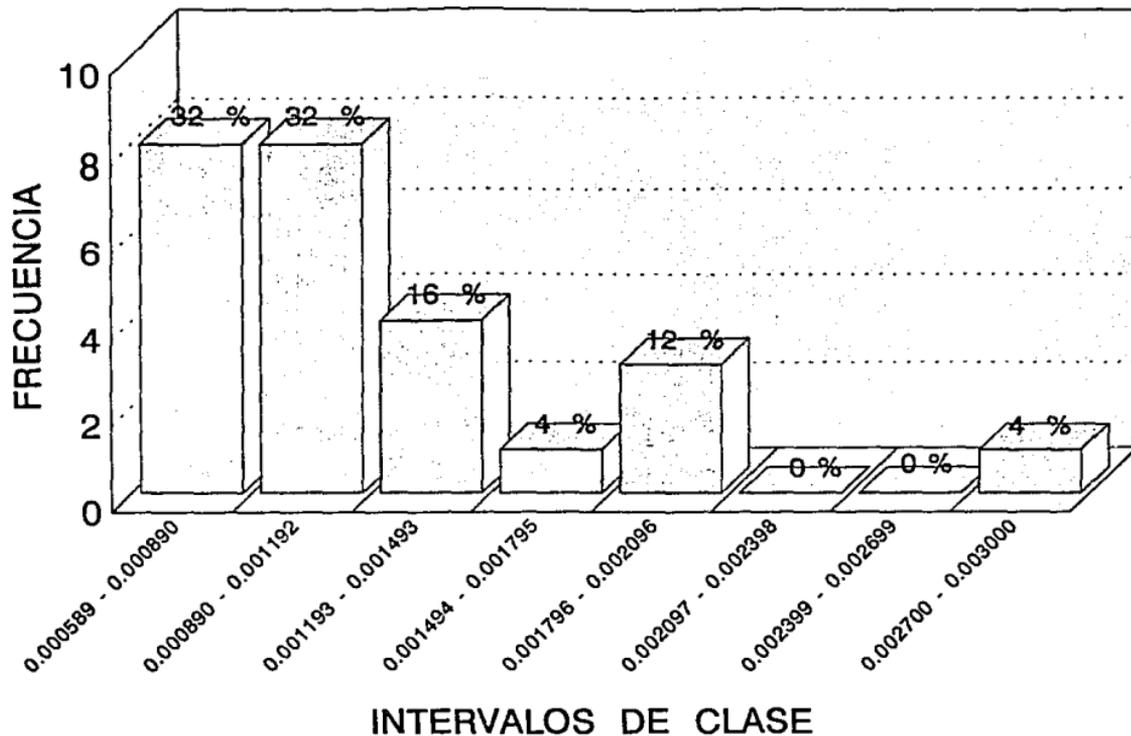


Bx.c: BLANCOS CON VALORES AL EXTREMO Dx.c: DUPLICADOS CON VALORES AL EXTREMO

FIG 12 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LAS MUESTRAS

SE UTILIZAN LOS RESULTADOS DE LAS 25 MUESTRAS EN ESTE HISTOGRAMA.

26



VALOR MAXIMO: 0.003000

VALOR MINIMO: 0.000589

RANGO: 0.000301

0.001795 wL, un grupo de datos del 12% se concentra entre los valores de 0.001796 y 0.002096 wL y un pequeño grupo del 4% se concentra en los valores más altos que se obtuvieron y son del 0.0027 al 0.003 wL.

3.2.1 Calibraciones

Con el fin de reforzar el control estadístico se realizaron calibraciones al equipo utilizado para conocer el comportamiento del proceso.

3.2.2 Calibración con Fuente

La calibración con fuente se realizó para conocer la eficiencia de conteo del detector, las calibraciones se realizaron a un nivel de significación de 0.045 (4.5%) de probabilidad de error 2σ y el intervalo de confianza que establece el fabricante es de 22 a 29% para obtener datos confiables en el periodo de muestreo. La eficiencia de conteo es el porcentaje de las partículas α emitidas por el filtro o la fuente que mide la WLM-1A y para conocer esta cantidad se utilizó una fuente electrodepositada y calibrada de ^{230}Th .

Las calibraciones con la fuente se hicieron cada cinco muestras incluyendo blancos o duplicados.

La eficiencia del contador se mencionó anteriormente y se encuentra reportada en la tabla 12 para las muestras y en la tabla 14 para los blancos y duplicados.

3.2.3 Calibración de Flujo de la Bomba

La calibración de flujo se realizó para conocer la eficiencia de la bomba y así obtener el rango de flujo, el fabricante establece los valores de 0.12 a 0.18 L/min para obtener datos confiables en el periodo de muestreo. Como la velocidad de flujo es baja proporciona una óptima relación eficiencia-control de bombeo y la sensibilidad al radón. Para obtener el flujo se utilizó la técnica de la burbuja de jabón.

Las calibraciones del flujo de la bomba se hicieron mensualmente. El flujo de la bomba se reportó en la tabla 22 para las muestras y

TABLA 23 DOSIMETROS TERMOLUMINISCENTES (DTL)

CaSO₄:Dy+PTFE

DOSIMETRO #	MUESTRA #, LUGAR	TIPO DE ZONA	COLOCACION	PROMEDIO mR (35 días)
1	4 TLALTENCO	TRANSICION	RECAMARA PTA BAJA	10.17
2	21 TLAHUAC	LAGOS	SALA PTA BAJA	10.16
3	2 TLAHUAC	LAGOS	COMEDOR 1er PISO	9.74
4	1 MIXQUIC	LAGOS	SALA PTA BAJA	10.46
5	20 SELENE	LAGOS	RECAMARA PTA BAJA	11.10
6	25 MIXQUIC	LAGOS	SALA PTA BAJA	10.33
7	17 TLALTENCO	LAGOS	RECAMARA PTA BAJA	10.31
8	24 TLALTENCO	TRANSICION	SALA PTA BAJA	9.38
9	3 IXTAYOPAN	TRANSICION	SALA PTA BAJA	10.07
10	14 TLALTENCO	TRANSICION	COCINA PTA BAJA	9.77
11	16 M. HIDALGO	LAGOS	SALA PTA BAJA	10.07
12	18 TLALTENCO	TRANSICION	RECAMARA 1er PISO	10.33
13	13 TLALTENCO	TRANSICION	SALA PTA BAJA	11.14
14	15 A. METROPOLITANA	LAGOS	RECAMARA PTA BAJA	10.23
15	19 ZAPOTITLAN	TRANSICION	SALA PTA BAJA	9.37
16	8 SANTA CATARINA	TRANSICION	SALA PTA BAJA	10.68
17	6 TLAHUAC	LAGOS	RECAMARA 1er PISO	9.91
18	11 ZAPOTITLAN	TRANSICION	SALA PTA BAJA	11.20
19	10 LA NOPALERA	LAGOS	SALA 1er PISO	12.52
20	12 LOS OLIVOS	LAGOS	SALA PTA BAJA	10.79
21	5 DEL MAR	LAGOS	SALA PTA BAJA	10.11
22	23 IXTAYOPAN	TRANSICION	SALA PTA BAJA	10.55
23	7 TLAHUAC	LAGOS	SALA PTA BAJA	10.03
24	9 TLALTENCO	LAGOS	SALA PTA BAJA	10.46
25	22 AMP. SELENE	LAGOS	SALA PTA BAJA	10.35

DEL 4 DE FEBRERO AL 21 DE MAYO DE 1993

TABLA 24 LECTURAS DE LOS DOSIMETROS DE TERMOLUMINISCENCIA

DOSIMETROS DE CaSO_4 : Dy + PTFE. EXPOSICION (mR)

DOSIMETRO N°	1er PERIODO 5FEB-7MAR-93	2do PERIODO 7MAR-18AB-93	3er PERIODO 18AB-21MAY-93	MEDIA (35 días)
1	10.60	10.22	9.69	10.17
2	11.15	9.51	9.84	10.16
3	9.47	9.15	10.59	9.74
4	10.33	10.22	10.88	10.48
5	10.60	9.77	12.94	11.10
6	10.98	9.82	10.20	10.33
7	11.45	9.91	9.56	10.31
8	9.95	8.82	9.56	9.38
9	10.14	9.01	11.09	10.07
10	9.66	9.46	10.19	9.77
11	11.18	10.02	9.02	10.07
12	10.49	8.90	11.59	10.33
13	11.52	9.74	12.15	11.14
14	11.37	9.93	9.40	10.23
15	9.47	8.90	9.75	9.37
16	10.57	10.60	10.88	10.68
17	11.20	8.82	9.70	9.91
18	11.87	9.18	12.55	11.20
19	12.81	10.02	14.72	12.52
20	10.97	9.12	12.27	10.79
21	10.08	10.30	9.95	10.11
22	10.46	9.29	11.91	10.55
23	10.72	10.02	9.34	10.03
24	10.73	09.4E	11.18	10.46
25	11.29	10.3C	09.46	10.35
PROMEDIO	10.76	09.61	10.69	10.37
+/- VARIACION (PROMEDIO)	0.47	0.65	0.43	0.52

PARA LA MEDIA:
 $\sigma_n = 0.638$
 $\sigma_{n-1} = 0.651$

MEDIA ARITMETICA

$$\bar{x} = (1/3) * (10.76 + 9.61 + 10.69)$$

$$\bar{x} = 10.36 \pm 0.52 \text{ mR}$$

MEDIA GEOMETRICA

$$\bar{g} = \sqrt[3]{10.76 * 9.61 * 10.69}$$

$$\bar{g} = 10.34 \pm 0.51 \text{ mR}$$

RANGO DE VARIACION (0.03 A 4.7 mR)

en la tabla 14 para los blancos y duplicados todos los valores dentro del intervalo establecido.

3.3 Dosimetría Termoluminiscente

3.3.1 Resultados

La tabla 23 muestra la ubicación o lugar, tipo de zona, colocación dentro de la vivienda y el número de dosímetro (con su correspondencia con el número de casa muestreada con el equipo WLM-1A), por estar desfasado en los meses de muestreo.

En la tabla 24 se reporta el tiempo de muestreo que se dividió en tres periodos, el primero fué del 5 de Febrero al 7 de Marzo que son 30 días de muestreo, el segundo del 7 de Marzo al 18 de Abril que son 42 días de muestreo y el tercero del 18 de abril al 31 de Mayo de 1993 con una duración de muestreo de 33 días, también se reporta el promedio de los periodos de muestreo y la media de los promedios en miliroentgen (mR).

El primer periodo se midió en Invierno, el segundo, y tercero en Primavera.

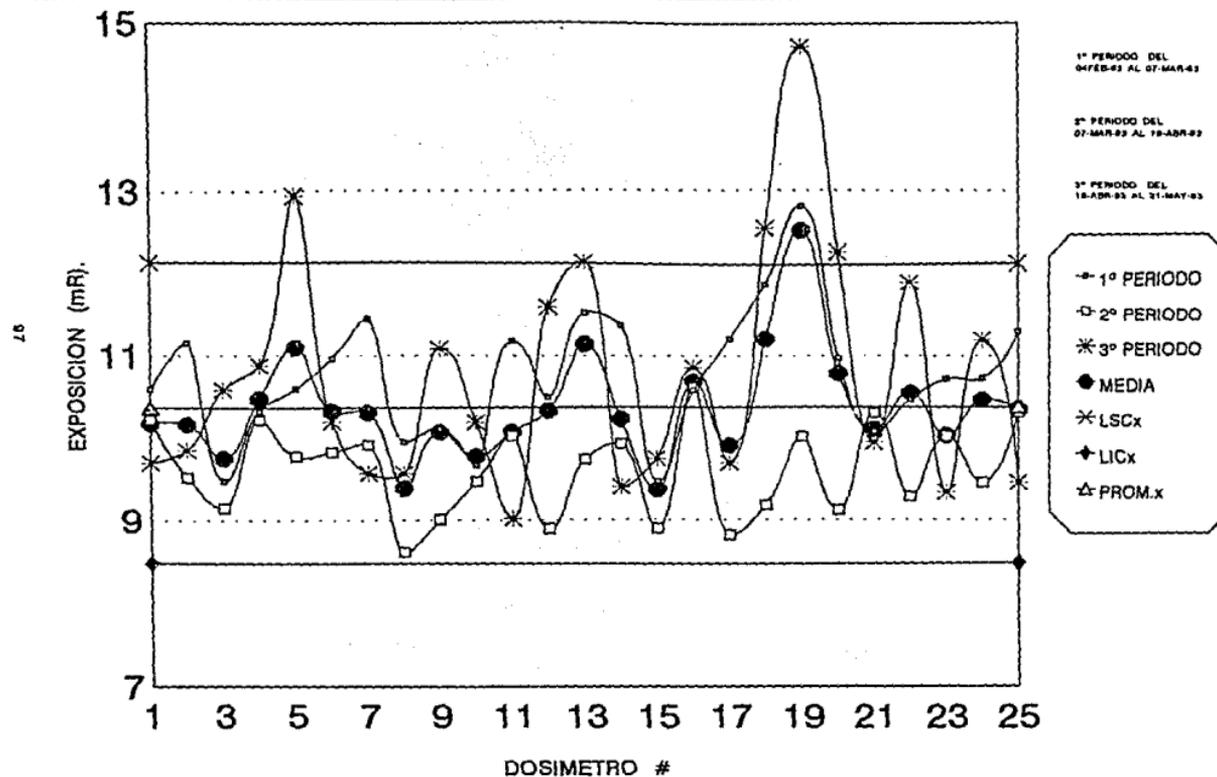
La figura 13 muestra el comportamiento de los resultados de las medidas de radiación y con el análisis estadístico por el método media-rango, su Media, Límites de Aceptación y el promedio en cada vivienda.

Prom $x.c=10.37$ mR +/- 0.52 mR LSC $x.c=12.26$ mR LIC $x.c=8.48$ mR

M. Arit.=10.36 mR +/- 0.52 mR

M. Geom.=10.34 mR +/- 0.51 mR

FIG 13 DATOS DE LOS DOSIMETROS DE $\text{CaSO}_4 : \text{Dy} + \text{PTFE}$
EXPOSICION (mR).



CONCLUSIONES

De acuerdo con la E.P.A. (Environmental Protection Agency) la dosis de radiación natural permisible para la población en general a la que puede estar expuesta es de 0.02 WL (4 pCi/l o 148 Bq/m³). El cual se tomó como punto de partida para llegar a las siguientes conclusiones:

1.- Para las 25 casas habitación muestreadas incluyendo los duplicados, el 100% presentó una concentración menor a 0.02 WL y también el 100% presentó un % de torón insignificante.

2.- La máxima lectura que se registró fue de 0.00879 en la casa número 1 en Mixquic a las 18 horas, con un promedio para las 28 horas de 0.00578 WL; siendo aún estos valores en un 56% y 76% respectivamente menores al valor de no acción de EPA.

3.- La concentración de radón promedio en interiores en la zona habitacional de la delegación de Tláhuac fue de 0.001422 WL +/- 0.00107 WL (7.16% o 0.000102 WL) ó 10.52 Bq/m³ +/- 7.92 Bq/m³ (7.16% o 0.755 Bq/m³) de radón para las muestras (factor de equilibrio 0.5).

4.- La concentración de radón promedio para exteriores (Blancos) fue de 0.000741 WL +/- 0.000249 WL (8.98% o 0.000067 WL) ó 5.48 Bq/m³ +/- 1.84 Bq/m³ (8.98% o 0.5 Bq/m³) de radón que es el 48% más bajo que en el interior y dentro del valor reportado de 4 a 9 Bq/m³ para zona continental.

5.- El Porcentaje Relativo de Desviación del Promedio (%RMD) $\%RMD = |(X_c - \text{media}) / \text{media}| * 100$, para las muestras 8, 11, y 18 con sus duplicados 1, 2 y 3 respectivamente son del 19.5% para la muestra 8 ($X_c = 0.001269$ WL, media 0.001061 WL), 12.8% para la muestra 11 ($X_c = 0.000995$ WL, media 0.000812 WL) y 1.1% para la muestra 18 ($X_c = 0.000998$ WL, media 0.001009 WL); lo que indica que las condiciones para la muestra 8 y 11 son difíciles de reproducir (en cuanto a ventilación) lo que sí sucede con la muestra 18, pero

todas y en promedio (11.1%) se mantienen dentro de lo aceptable para trabajo de campo.

6.- Para exterior-exterior los resultados son los siguientes: EL %RMD mayor correspondió a los blancos 1 y 3 (0.000986 vL y 0.000414 vL respectivamente) y fué de 40.8%. El %RMD menor correspondió a los blancos 2 y 4 (0.000746 vL y 0.000824 vL respectivamente) y fué de 4.9%. Estos valores (%RMD) se deben a las condiciones climáticas cambiantes en un período de 16 días en promedio. intervalo de tiempo entre blanco y blanco.

7.- Al muestrear con el equipo WLM-1A 24 horas continuas se obtiene un % de variación menor al 10% en todos las casas y la cantidad de puntos fuera de los límites de control es mínima.

8.-El control de calidad que se llevó a cabo para los muestreos valida los resultados y aunado a esto, las calibraciones tanto de la eficiencia del contador como del flujo de la bomba, estuvieron dentro del rango que recomienda el fabricante que certifican la operación adecuada del equipo, y por lo tanto muestran que las lecturas de los muestreos son precisas y muy confiables.

9.- En cuanto a la exposición de radiación gamma (γ), el promedio obtenido con los dosímetros termoluminiscentes en la delegación de Tláhuac es de: 10.37 mR +/- 0.52 mR (en 35 días), equivalente a 12.34 +/- 0.619 μ R/h. En la ciudad de México el componente ionizante de los rayos cósmicos en el exterior ha sido estimado en 7.7 μ R/h.

BIBLIOGRAFIA

- 1 H. Ahmed K. "Radon : A Friend or a Foe"
Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 231-270
- 2 F. Abu-Jarad, R.G. Sextro "Reduction of Radon Progeny.
Concentration in Ordinary Room Due to a Mixing Fan"
Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol 15 (1988) # 1-4 pp 629-632
- 3 L.E. Acevedo G. "Amenaza Nuclear I"
Revista Ciencias UNAM # 17 (1990) pag 30-39
- 4 J. Azorín N. "Protección Radiológica II. Dosimetría"
ININ Serie de Divulgación Técnico Científica. México (1988)
- 5 J. Azorín, G. González, A. Gutierrez, P. Salvé
Health Physics Vol. 46 # 2 (1984) pp 269
- 6 American National Institute, ANSI-N-545 (1975)
- 7 S. Bulbulian "La Radiactividad "
La Ciencia desde México # 42 SEP-FCE-CONACYT México (1980)
- 8 C. Baixeras, I. García, F. Fernández, C. Domingo
"Indoor Radon Concentration Measurement in Some Spanish Houses"
Nucl. Tracks. Radiat. Meas. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 279-282
- 9 R. Barillon, D. Klein, A. Chambaudet, F. Membrey
"Additional Uses of P.N.T.D. (CR 39 and LR 115) for Measuring
Radon Emanation" Nucl. Tracks R.M. Vol 19 (1991) #1-4 pp 291
- 10 G. Bigazzi, J.C. Hadler and S.R. Paulo "On Indoor Radon
Contamination Monitoring with P.N.T.D: The Influence of
Plate-Out Effect" Nucl. Tracks. R.M Vol. 15 (1988) pp 539-542

- 11 M. Beozzo, E. Bottazzi, P. Calligola "Measurement of Indoor Radon Levels in the Bologna Metropolitan Area"
Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 297-298
- 12 A. Bouville, W.M. Lourder.
Rad. Protec. Dos. Vol 24, 1-4 (1988) pp 293
- 13 Comisión Internacional de Protección Radiológica
ICPR # 43 (1985)
- 14 D.E. Cherouati, S. Djeflal and S.A. Durrani "Calibration Factor for LR-15 Detector Used for the Measurement of Alfa Activity from Radon" Nucl. T.R.M. Vol 15 (1988) # 1-4 pp 583-586
- 15 C.S. Dudney, A.R. Hawthorne, R.G. Wallace and R.P. Reed "Radon-222, ²²²Rn Progeny, and ²²⁰Rn Progeny Levels in 70 Houses" Health Phys. Vol 58 # 3 (1990) pp 297-311
- 16 E.G.C. ORTEC "Environmental Radon Measurement by Gamma Spectroscopy" Nuclear Spectroscopy System Radon Monitoring Note
- 17 G. Eugene L. "Control Estadístico de Calidad"
Ed. CECSA México 1987
- 18 R.L. Fleischer "Radon in the Environments. Opportunities and Hazards" Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol 14 (1988) # 4 pp 421-435
- 19 L.C.S. Gundersen "The Effect of Rock Type, Grain Size, Sporting, Permeability and Moisture on Measurement of Radon in Soil" Journal of Rad. and Nucl. Chem. A. Vol 161 (1992) # 2 325
- 20 M. Gallardo, R. Jiménez, L. Loria, M. Monnin, J.L. Seidel "Assessment of the Effect of Environmental Factors on Radon Concentration in Soil" N.T.R.M. Vol 19 (1991) # 1-4 309-311

- 21 J.J. García R. "Monitoreo de Radón en Casas Habitación"
Tesis 1994 UNAM Fac. de Química
- 22 T.F. Gesell
Health Physics. Vol 45 (1983) pp 289
- 23 I. Hunyadi, J. Haki, L. Lénárt, G. Géczy "Regular Subsurface Radon Measurement in Hungarian Karstic Region" N.T.R.M. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 321-326
- 24 A.K.F. Haque, G.S. Islam, S.M. Farid "Indoor and Underground Radon Activity in the Northern Part of Bangladesh" Nucl. Trac. Radiat. Meas. Vol 18 (1991) # 3 pp 341-344
- 25 INEGI DGG. "Atlas de la Cd. de México DDF"
Ed. Colmex 1988
- 26 G.S. Islam, M.A. Islam, S.M. Farid "A Study of Radon Activity Inside Some Houses in Bangladesh" N.T.R.M. Vol 15 (1988) # 1-4 pp 539-542
- 27 G. Jönsson "Indoor Radon Gas and Its Detection with Kodak Plus. Film" Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol 13 (1987) # 1 pp 85-91
- 28 D. Klein, A. Chambaudet, Y. Cauchois "Developing Measuring Technique in Radio Protection for Tracking Radon In Situ" Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 363-364
- 29 A.J. Khan, A.K. Varshney, R. Prasad "The Indoor Concentration of Radon and Its Daughters in Multistorey Building" Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol 13 (1987) # 1 pp 77-80
- 30 A.J. Khan, A.K. Varshney, R. Prasad, R.K. Tyagi "Measurement of Radon and Its Daughters in Dwelling" N.T.R.M. Vol 17 (1990) # 4 pp 497-502

- 31 A.J. Khan, R.K. Tyagi, R. Prasad "Study of Airborne Radon Levels Inside Building" Nucl. Tracks R.M. Vol 16 (1989) # 1 pp 23-27
- 32 M.A. Kenay, A.A. Morsy "Measurement of Environmental Radon-222 Concentration in Indoor and Outdoor in Egypt" N.T.R.M. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 343-349
- 33 Kotrappa, P.J.C. Dempsey, R.M. Ramsey "A Practical E-Perm System for Indoor 222-Rn Measurement" Health Phys. Vol 58 (1990) # 4 pp 461-467
- 34 K.G. Lao "Controlling Indoor Radon, Measurement, Mitigation and Prevention" Van Nostrand Reinhold N.Y. 1990
- 35 Memorias de la Obra del Sistema de Drenaje Profundo del D.F. Tomo IV D.D.F. México 1976
- 36 M. Navarrete, L. Cabrera "Introducción al Estudio de los Radioisótopos" Ed. UNAM Fac. de Química 2da.Ed. 1993
- 37 M. Najzer, T. Sutej "Passive Dosimeter for Radon Determination in the Environment" Nucl. Trac. R.M. Vol 17 (1990) # 1 pp 49
- 38 O.C. Oppon, D. Azimi-Garakani, L. Tommasino, S. Aziz "Radon Monitoring for Short Term Exposure in Indoor Air" Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol 15 (1988) # 1-4 pp 633-636
- 39 Plano de Usos del Suelo "Delegación Tláhuac" Cd. de México D.D.F. 1990
- 40 Environment Protection Agency "Radon Reference Manual" EPA (1986)

- 41 National Council Radiat. Protec. "Radiación para la Dosis Equivalente Efectiva Promedio para la Población de los E.U." NCRP # 93 (1987)
- 42 A. Rawat, P.J. Jojo, A.J. Khan "Radon Exhalation Rate in Building Material" Nucl. T.R.M. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 391-394
- 43 R.C. Ramola, M. Singh, S. Singh "Laboratory Studies on the Behaviour of Radon Diffusion Through Soil" N.T.R.M. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 389-390
- 44 R.C. Ramola, S.S. Singh, H.S. Virk "Radon Studies Over Main Boundary Thrust Near Dehradun India" N.T.R.M. Vol 15 (1988) # 1-4 pp 617-619
- 45 N. Segovia, S. Bulbulian "La Radiactividad en el Habitat" Ciencia y Desarrollo # 70 año XII (1986) pag 41-49
- 46 N. Segovia, P. Peña, E. Tamez "Radon Survey in Mexico City" Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 405-408
- 47 N. Segovia, C. Galle, J.L. Siedel "Radon in Soil Intercomparative Studies" N.T.R.M. Vol 15 (1988) # 1-4 pp 625
- 48 H. Serrano R. "La Protección Respiratoria en la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde" Tesis 1989 UNAM F. Química
- 49 S. Singh, H.S. Ghuman "The Measurement of Radon Emanation Rates from Some Rocks and Building Material Using Radon Emanometry and LR-15 PTD" Nucl. Tracks R.M. Vol 17 (1989) # 1-4 pp 621-624
- 50 M. Sohrabi, A.R. Solaymanian "Indoor Radon Level Measurement in Some Region of Iran" N.T.R.M. Vol 15 (1988) # 1-4 pp 613-616
- 51 T. Sutej, R. Ilic, M. Najzer "Response of Track-Etch Dosemeter to Environmental Radon" N.T.R.M. Vol 15 (1988) # 1-4 pp 547-550

- 52 R.L. Sheaffear, W. Mendehall "Elementos de Muestreo"
Ed. Iberoamericana México 1987
- 53 E. Tamez, M.T. Olguín, N. Segovia "Natural Radioactivity of Building Material" Jour. Rad. and Nucl. Ch. Letters Vol 103 (1986) pp 231-270
- 54 M. Tufail, M. Amin, W. Akhtar "Radon Concentration in Some Houses of Islamabad and Rawalpindi Pakistan" N.T.R.M. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 429-430
- 55 M.T. Matiullah, S. Aziz, F. Ansari "Preliminary Radon Concentration-Survey in Some Houses of Islamabad" Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol 15 (1988) # 1-4 pp 659-662
- 56 G. Torri, D. Azimi-Garakani "Measurement of Soil and Indoor Radon in Italy" N.T.R.M. Vol. 15 (1988) # 1-4 pp 637-641
- 57 L. Tommasino "Radon Monitoring by Alpha Track Detection" N.T.R.M. Vol 17 (1990) # 1 pp 43-48
- 58 Trilinear Chart of the Nuclides
Mallinckroft International USA 1988
- 59 UNCEAR United Nation Scientific Committee "The Effects of Atomic Radiation, Source Effects and Risks of Ionizing Radiation Report to the General Assembly, with Annexes. N.Y: United Nations (1988)
- 60 Vorobjev I.B, Krivokhatskiv A.S. "Structure and Application of Equipment Assembly for Measurement of Radon Volume Activity in Houses and Soils" N.T.R.M. Vol 19 (1991) # 1-4 pp 431-432

61 Working Level Monitor Technical Eberline
Division of Thermo Electron Co. January 1988

62 L. Zikovsky "Determination of Radon Exhalation Rates from
Canadian Building Material with an Internal Proportional
Counter" N.T.R.M. Vol. 20 (1990) # 3 pp 523-527