



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**MONITOREO DE RADON EN CASAS  
HABITACION**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO QUIMICO**  
**P R E S E N T A :**  
**JUAN JOSE GARCIA RESENDIZ**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO D. F.

49  
2ej  
1993



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.

## MONITOREO DE RADON EN CASAS HABITACION.

### INDICE

#### Abreviaturas y Símbolos.

#### INTRODUCCION.

#### OBJETIVOS Y ALCANCE.

pág  
1  
4

#### CAPITULO 1

1.1) Características generales del radón.	6
1.1.1) Propiedades químicas y físicas.	6
1.1.2) Fuentes naturales.	7
1.1.2.1) Series de decaimiento.	8
1.1.2.1.1) Serie del 238-U.	12
1.1.2.1.2) Serie del 232-Th.	17
1.1.2.2) Productos de decaimiento del radón.	19
1.1.2.2.1) Relación entre la concentración del radón y la de los productos de decaimiento.	20
1.2) Unidades de medición.	21

#### CAPITULO 2

2.1) Procedencia del radón.	23
2.2) Factores geológicos.	23
2.3) Radón en las rocas.	24
2.4) Radón en el suelo.	26
2.5) Radón en el agua.	27
2.6) Radón en los materiales de construcción.	28

#### CAPITULO 3

3.1) Vías de introducción del radón a una casa.	29
3.2) Mecanismos de inducción del flujo de radón.	29
3.2.1) Transporte de radón desde el suelo.	31
3.2.2) Transporte de radón a través del agua.	32
3.2.3) Radón en los materiales de construcción.	34
3.3) Radón en los edificios de multiniveles.	34

#### CAPITULO 4

4.1) Riesgo a la salud por el radón.	36
4.2) Mecanismos de inducción del cáncer pulmonar.	37
4.3) Asociación del radón y el cáncer pulmonar.	38
4.4) Relación entre el fumar y los riesgos del radón.	40
4.5) Otros posibles riesgos a la salud producidos por el radón.	41
4.6) Otros factores a considerar.	41
4.7) Cómo reducir los riesgos del radón.	44
4.7.1) Dejar de fumar.	44
4.7.2) Evitar áreas habitables con altos niveles.	45
4.7.3) Ventilar la casa y los espacios de arrastre.	45

## CAPITULO 5

5.1) Instrumentos de medición de radón.	47
5.1.1) Detectores de trazas alfa.	47
5.1.2) Botes con carbón.	48
5.1.3) Unidad muestreadora integradora de los descendientes del radón (RPI8U).	49
5.1.4) Monitor continuo de radón (CRM).	50
5.1.5) Monitor continuo de niveles de trabajo (CWLM).	50
5.1.6) Muestreo de muy corto plazo (grab sampling).	51
5.1.7) E-PERM (Electret Passive Environmental Radon Monitor).	53
5.1.8) Selección del método de muestreo.	53
5.2) Condiciones para realizar la medición.	53
5.2.1) Condiciones de medición estandarizadas.	53
5.2.2) Condiciones de la casa.	54
5.3) Objetivos del control de calidad.	55
5.4) Tipo de mediciones.	56
5.4.1) Medidas de investigación.	57
5.4.2) Medidas de seguimiento.	58

## CAPITULO 6 (PARTE EXPERIMENTAL)

6.1) Selección del método de muestreo.	60
6.2) Selección del sitio de muestreo.	60
6.2.1) Características geográficas.	60
6.2.2) Características de relieve.	61
6.2.3) Características climáticas.	62
6.2.4) Contaminación.	62
6.2.5) Estructura urbana.	63
6.3) Descripción general y manual de operación del sistema de monitoreo.	69
6.3.1) Precisión de la medición.	69
6.3.2) Operación del sistema.	70
6.3.2.1) Descripción de la operación del teclado.	70
6.3.2.2) Programa para el reloj.	73
6.3.2.3) Programa de parámetros.	76
6.3.2.4) Programa para impresión de los datos.	87
6.3.2.4.1) Formato promedio/histórico.	87
6.3.2.4.2) Formato predictivo.	88
6.3.2.5) Programa de pruebas de la WLM-1A.	91
6.3.2.5.1) Prueba de conteo (counter test).	91
6.3.2.5.2) Prueba de la bomba (pump test).	95
6.3.3) Muestreador de niveles de trabajo, WLM-1A.	99
6.3.3.1) Descripción general.	99
6.3.3.2) Teoría de operación.	102
6.3.3.2.1) Computador.	102
6.3.3.2.2) Detector.	104
6.3.3.2.3) Suministro de energía.	105
6.3.3.3) Calibración.	106
6.3.3.3.1) Eficiencia de conteo.	108
6.3.3.3.2) Calibración del flujo.	109
6.3.3.4) Mantenimiento.	111
6.3.3.4.1) Mantenimiento preventivo.	111
6.3.3.4.2) Cambio de filtro.	111
6.3.3.4.3) Batería.	113
6.3.3.4.3.1) Vida de servicio.	113
6.3.3.4.3.2) Cargado.	113

6.3.3.4.3) Almacenaje.	114
6.3.3.4.4) Bomba.	114
6.3.4) Unidad lectora de niveles de trabajo, WLR-1A.	116
6.3.4.1) Descripción general.	116
6.3.4.2) Teoría de operación.	118
6.3.4.3) Mantenimiento.	118
6.3.4.3.1) Mantenimiento preventivo.	118
6.3.4.3.2) Impresora.	118
6.3.4.3.2.1) Descripción general.	118
6.3.4.3.2.2) Especificaciones.	120
6.3.4.3.2.3) Energía.	120
6.3.4.3.2.4) Instalación del papel.	120
6.3.4.3.2.5) Limpieza de la cabeza de impresión.	122
6.3.5) Cargador de batería para monitor de niveles de trabajo, BC-WLM.	123
6.3.5.1) Descripción general.	123
6.4) Metodología.	124
6.4.1) Calibración de la unidad muestreadora.	124
6.4.2) Período óptimo de muestreo.	125
6.4.3) Muestreo.	126
6.4.4) Control de calidad.	127

#### CAPITULO 7

##### (RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS)

7.1) Calibraciones.	129
7.1.1) Calibración en eficiencia.	129
7.1.2) Calibración del flujo.	131
7.2) Período óptimo de muestreo.	131
7.3) Muestreo.	147
7.4) Medidas por duplicado y medidas blanco.	176
7.5) Dosimetría Termoluminiscente.	184
7.6) Características de la construcción. Hábitos y costumbres de los moradores.	187
CONCLUSIONES.	191
APENDICE A. CUESTIONARIO.	193
BIBLIOGRAFIA.	198

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

mSv	Milli-Sierverta
Bq	Becquerel
a	Año
d	Día
m	Minuto
s	Segundo
h	Hora
≈	Aproximadamente igual
ppm	Partes por millón
MBq	Mega-Becquerel
l	Litro
pCi	Pico-Curies
g	Gramo
WL	Nivel de trabajo (working level)
WLM	Nivel de trabajo mensual (working level month)
eq.	Equilibrio
lpm	Litros por minuto
MeV	Mega-Electrón Volt
mm	Milímetros
C.A	Corriente alterna
cpm	Cuentas por minuto
EER	Equilibrio equivalente del radón
dpm	Desintegraciones por minuto
Ah	Amper - hora
RST	Rearrancar (restart)
TST	Prueba (test)
rpm	Revoluciones por minuto
Vdc	Volt - corriente directa
Vac	Volt - corriente alterna
Hz	Hertz
mA	Mill-Amper
mR	Mill-Roentgen
PROM.	Promedio
x	Datos
r	Rango
LSC	Límite superior de control
LIC	Límite inferior de control
S	Sin intervalo del extremo
C	Con intervalo del extremo
INTV.	Intervalo
PROM. $\bar{x}$	Promedio de medias, "promedio del promedio"
INTVS.	Intervalos
$\Sigma$	Sumatoria de
conc.	Concentración
CTE. CAL.	Constante de calibración
G	Grupo
$\bar{x}$	Media aritmética
$\bar{a}$	Media geométrica
M	Muestra
D	Duplicado
B	Blanco

## INTRODUCCION.

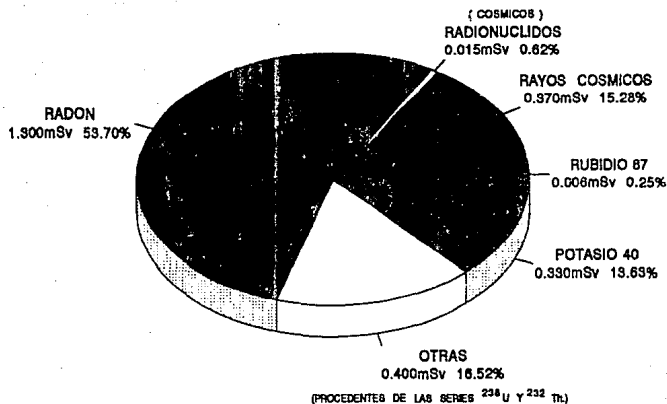
Las fuentes naturales (entre ellas el radón) representan la más alta dosis de radiación que reciben las personas normalmente. La dosis equivalente efectiva anual media proveniente de fuentes naturales es de unos 2.4 mSv con individuales que fluctúan desde 1 hasta 5 mSv al año y en casos extremos, hasta 1 Sv o más. El radón representa el principal aporte a la dosis equivalente efectiva anual, 1.3 mSv (Fig.1).

Las 2 fuentes de radiación natural más importantes son el cosmos, que irradia a las personas continuamente con rayos cósmicos y la biósfera de la tierra, que posee radionúclidos que han existido en la corteza terrestre durante miles de millones de años. La irradiación se produce externamente mediante exposiciones a la radiación extraterrestre y a la procedente de materiales radiactivos naturales que permanecen fuera del cuerpo humano; e internamente mediante la exposición a radionúclidos naturales que están presentes biológicamente en el cuerpo humano o que están incorporados en el aire que se inhala, en las bebidas y en los alimentos que se ingieren.

En cuanto a las fuentes terrestres, en el medio ambiente hay radiaciones terrestres a varios niveles, según las concentraciones de actividad que se encuentran en materiales naturales tales como las rocas, los suelos, el agua, el aire, los alimentos e incluso el cuerpo humano. Las fuentes terrestres más importantes son el  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  y las 2 series de elementos radiactivos provenientes de la desintegración del  $^{238}\text{U}$  y el  $^{232}\text{Th}$ . Otros radionúclidos tales como los de las series de desintegración del  $^{235}\text{U}$ , tienen escaso efecto en la exposición total a las radiaciones.

La radiactividad de algunas rocas y suelos es la principal fuente de irradiación terrestre de los individuos cuando se encuentran al aire libre. Generalmente las rocas ígneas, como el granito, son más radiactivas que las sedimentarias, pero hay excepciones notables como los esquistos y las rocas fosfatadas altamente radiactivas. Debido a que las personas pasan la mayor

**FIG.1 ESTIMACION DE LAS DOSIS ANUALES INDIVIDUALES  
PROCEDENTES DE FUENTES NATURALES.**



**TOTAL TERRESTRE : 2.036 mSv (84.1%)**

**TOTAL COSMICAS : 0.385 mSv (15.9%)**



parte del tiempo bajo techo, los niveles de radiación existentes en la vivienda son muy importantes para sus exposiciones. En la práctica, la mayor parte de la irradiación terrestre interna puede imputarse a una fuente que se halla por doquier; el incoloro e inodoro gas radón.

Existen diversas vías por las que el radón penetra a los edificios, de las cuales la más importante es la de los suelos subyacentes o cercanos y, en menor grado, los materiales de construcción, el aire del exterior, el agua corriente y el gas natural.

#### OBJETIVOS.

- a) Implementar la técnica de medición de radón, a través de sus productos de decaimiento de vida media corta, en el interior de casas habitación; así como sus controles de calidad.
- b) Desarrollar el manual de operación y de mantenimiento del equipo que se emplea para la obtención de las lecturas.
- c) Determinar los tiempos óptimos de muestreo para las medidas de investigación.
- d) Determinar la concentración de radón en casas habitación en una zona de la delegación Alvaro Obregón; la concentración promedio de la zona monitoreada y búsqueda de la correlación con algunos parámetros relevantes.
- e) Conocer las características de las casas monitoreadas; así como los hábitos y costumbres de sus moradores.
- f) Conocer las condiciones climáticas (temperatura, precipitación y humedad) y el tipo de suelos de la delegación Alvaro Obregón.

#### ALCANCE.

El propósito a largo plazo del proyecto de investigación del que este trabajo forma parte; es el efectuar mediciones de radón en casas habitación del país (el estudio comienza en el D.F.) para conocer la distribución general de las concentraciones del radón, la exposición promedio de la población mexicana y el número probable de casas habitación en las que la exposición puede ser tan alta que justifique medidas correctivas.

La presente tesis desarrolla la investigación acerca de la concentración de radón que hay en el interior de casas habitación de una zona de la delegación Alvaro Obregón, la determinación del radón se realiza indirectamente midiendo la concentración de sus productos de decaimiento, por el método de monitoreo continuo de los productos de decaimiento del radón en niveles de trabajo (CWLM). El trabajo se enfoca a 25 casas habitación en las que se monitorea en el sótano (1 caso), planta baja y primer piso; a la par de estos monitoreos se efectúa un control de calidad (duplicados, blancos, calibración con fuente, calibración del flujo y mantenimiento) con el fin de verificar y asegurar que los datos obtenidos son reales y de precisión y exactitud conocida.

En principio se determina cual es el tiempo óptimo de muestreo para las medidas de investigación (el lapso de tiempo es de 24, 48 y 72 horas), dichas mediciones se realizan en condiciones de "casa cerrada"; conociendo el tiempo óptimo de muestreo se llevan a cabo los monitoreos en las casas habitación; además, junto con lo anterior se emplean dosímetros de termoluminiscencia para determinar la exposición natural que hay en las casas monitoreadas.

Para conocer con más certeza los factores que incrementan la concentración de radón a un valor muy alto se procede a aplicar un cuestionario para conocer las características de las casas, así como los hábitos y costumbres de sus moradores. Además, se investigan las condiciones climáticas (temperatura, precipitación y humedad) y el tipo de suelos que hay en la delegación Alvaro Obregón.

El análisis de resultados se realiza aplicando el Control Estadístico de Calidad (gráficos de control con sus límites de control superior e inferior); así como también se obtiene el promedio aritmético y geométrico de las concentraciones obtenidas..

## CAPITULO 1

### 1.1) Características generales del radón.

El  $^{222}\text{Rn}$  es un gas noble inerte, que no tiene compuestos químicos naturales. Por ser el descendiente inmediato del  $^{226}\text{Ra}$ , se produce continuamente dondequiera que exista éste (Ge83).

Debido a que es un gas noble, el radón es más libre de migrar que sus padres y su descendencia (todos ellos metales). El radón que emana de la superficie terrestre a la atmósfera se dispersa rápidamente y se diluye por convección vertical y por turbulencia. Pueden existir niveles considerablemente más altos de radón si éste se libera en espacios cerrados, tales como las minas subterráneas y las casas. Las concentraciones de radón en el aire dentro de los edificios varían considerablemente, desde unos cuantos  $\text{Bq/m}^3$  a miles de  $\text{Bq/m}^3$  (ICRP87).

El radón decae a una serie de radionúclidos de vida media corta. Por ello, la liberación de radón al aire da lugar a un aumento gradual de sus descendientes en el aire. La mayoría de estos núclidos, que son radioisótopos del Po, Bi y Pb, se unen a las partículas de polvo, formando así un aerosol radioactivo. Debido a la deposición en la superficie y a la ventilación, no se alcanza un equilibrio radiactivo entre el radón y sus descendientes en espacios confinados (ICRP87).

#### 1.1.1) Propiedades químicas y físicas.

El radón es un elemento químico del grupo 8A del sistema periódico; fue descubierto por Rutherford en 1900. Se encuentra en una proporción del  $6.2 \times 10^{-10}$  por ciento del peso de la corteza terrestre y atmósfera; es un gas radiactivo, químicamente inerte y de procedencia natural. Debido a que el radón no reacciona químicamente con la mayoría de los materiales, es libre de viajar como un gas y puede moverse fácilmente a través de muy pequeños espacios como aquellos que existen entre las partículas del suelo

y las rocas. El radón es inodoro, incoloro e insípido; por tanto, no se puede detectar con los sentidos. El radón es moderadamente soluble en el agua y, por consiguiente, puede ser absorbido por el agua que fluye entre las rocas o la arena que contienen radón. Su solubilidad depende de la temperatura del agua; en el agua fría, la solubilidad del radón es mayor. Una medida de la solubilidad del gas esta dada por el coeficiente de solubilidad. El coeficiente de solubilidad del radón se define como el cociente de la concentración de radón en el agua con respecto a la del aire (CoB6). A una temperatura más elevada el agua libera más radón y, por lo tanto, el coeficiente de solubilidad es más bajo. El máximo coeficiente de solubilidad del radón es de 0.5 a una temperatura del agua de 0°C y, disminuye exponencialmente conforme la temperatura del agua aumenta. Por ejemplo, a 20°C, el coeficiente de solubilidad es de 0.25; a 90°C, el coeficiente es de 0.1.

#### Propiedades del radón (8u83).

Número atómico: 86	Peso atómico: 222	Densidad: 9.96 g/l.
Punto de fusión: -77 °C.	Punto de ebullición: -62 °C.	
Radio covalente: 2.14 Å.	Potencial de ionización: 10.75 eV.	

#### 1.1.2) Fuentes naturales.

El torio y el uranio son por lo común, elementos de procedencia natural que se encuentran en baja concentración en las rocas y el suelo. Por medio del decaimiento radiactivo, ambos son fuentes constantes de radón. El radón se produce por el decaimiento radiactivo del elemento radio, el cual a la vez es un producto de decaimiento tanto del uranio como del torio.

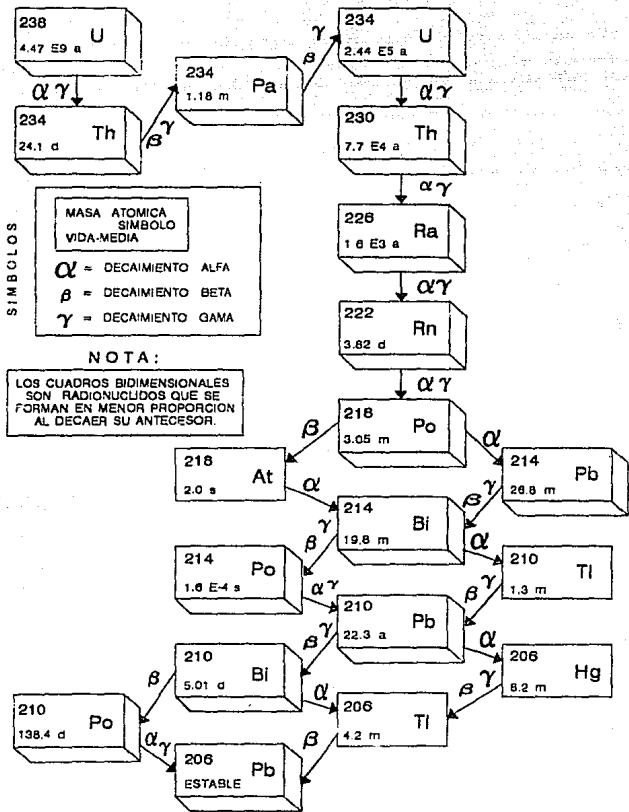
El decaimiento radiactivo es un proceso en el cual el núcleo atómico inestable sufre una desintegración espontánea, con la emisión de partículas o de radiación electromagnética para formar un nuevo núcleo (producto de decaimiento), el cual puede o no puede ser radioactivo.

El promedio de las concentraciones en el suelo del  $^{238}\text{U}$  y el  $^{232}\text{Th}$  son cercanas a 0.68 picocuries por gramo (NeB3). El  $^{238}\text{U}$  decae en varios pasos a  $^{226}\text{Ra}$  (Fig. 2), el cual decae a  $^{222}\text{Rn}$ . El  $^{222}\text{Rn}$  tiene una vida media de 3.82 días y, por tanto, tiene bastante tiempo para difundirse a través de los poros secos del suelo o para ser transportado en el agua a una considerable distancia antes de decaer. Similarmente, el  $^{232}\text{Th}$  (Fig. 3) decae a  $^{220}\text{Rn}$  (un isótopo diferente del radón, también llamado torón), el cual tiene una vida media de 55.6 seg. Por su corta vida media y su limitada habilidad para migrar a la vivienda, el  $^{220}\text{Rn}$  es una fuente menos importante de exposición al radón para el ser humano. La exposición promedio en interiores para los productos de decaimiento del  $^{220}\text{Rn}$  se ha estimado en el 25% de la del  $^{222}\text{Rn}$  (UNBCEARB2).

El  $^{210}\text{Rn}$  (actinón) de la familia del actinio (Fig. 4) es el menos abundante. La concentración de  $^{235}\text{U}$  en las rocas y los suelos representa menos del 1% de la concentración de  $^{238}\text{U}$ . Esto aunado a que la vida media del actinón es corta (3.96seg), explica el porqué prácticamente no es medible en la atmósfera.

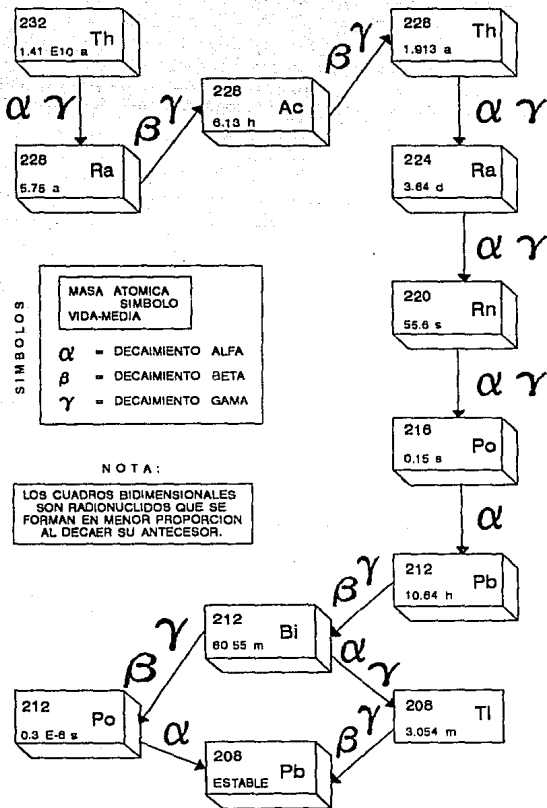
#### 1.1.2.1) Series de decaimiento.

Aunque el  $^{220}\text{Rn}$ , o torón, no se ha medido separadamente en la mayor parte de las casas, las acciones de control del radón pueden también reducir la exposición para el torón. Los radionúclidos que se forman dentro de las 3 series naturales de decaimiento son principalmente radionúclidos de metales pesados (U, Th, Ra, Po, Bi, Pb). En cada una de éstas cadenas de decaimiento existe un vínculo, que es un radionúclido del gas noble radón (Rn).



FUENTE: PUTNAM, HAYES & BARTLETT, INC., SEPTIEMBRE 1967.

FIG. 2 SERIE DE DECAIMIENTO DEL URANIO 238



SÍMBOLOS

MASA ATOMICA	SÍMBOLO	VIDA-MEDIA
$\alpha$	= DECAIMIENTO ALFA	
$\beta$	= DECAIMIENTO BETA	
$\gamma$	= DECAIMIENTO GAMA	

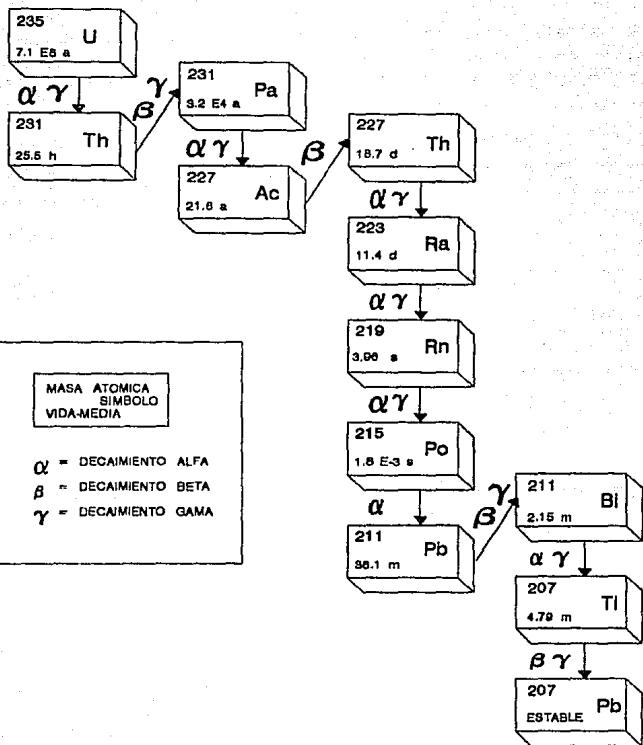
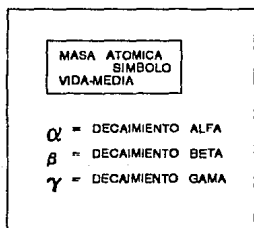
NOTA:  
 LOS CUADROS BIDIMENSIONALES SON RADIONUCLIDOS QUE SE FORMAN EN MENOR PROPORCION AL DECAER SU ANTECESOR.

FUENTE : PUTNAM, HAYES & BARTLETT, INC., SEPTIEMBRE 1987.

FIG. 3 SERIE DE DECAIMIENTO DEL TORIO 232



SÍMBOLOS



FUENTE : PUTNAM, HAYES & BARTLETT, INC., SEPTIEMBRE 1967.

FIG. 4 SERIE DE DECAIMIENTO DEL ACTINIO 227

1.1.2.1.1) Serie del  $^{238}\text{U}$ .

El  $^{238}\text{U}$  es la cabeza de una serie de 14 núclidos principales (Fig. 2). El número de masa de todos estos núclidos es divisible entre 4 y sobran 2 (serie  $4n + 2$ ). El producto estable de esta serie es el  $^{206}\text{Pb}$  (Ch80). Esta serie puede dividirse en subseries en las que la actividad del precursor controla en gran medida la actividad de los productos de decaimiento y son:  $^{238}\text{U} \longrightarrow ^{234}\text{U}$ ;  $^{230}\text{Th}$ ;  $^{226}\text{Ra}$ ;  $^{222}\text{Rn} \longrightarrow ^{214}\text{Po}$  y  $^{210}\text{Pb} \longrightarrow ^{210}\text{Po}$ . En la Tabla 1 se presentan los tres isótopos naturales del uranio, así como sus abundancias respectivas.

TABLA 1. COMPOSICION Y RADIATIVIDAD DEL URANIO NATURAL.

	Gramos/Kg de U natural	MBq/Kg de U natural
$^{238}\text{U}$	992.80	12.2
$^{235}\text{U}$	7.15	0.3
$^{234}\text{U}$	0.05	12.2

OIEA, 1984.

El uranio se encuentra en por lo menos 60 minerales conocidos y distribuidos por toda la Tierra. En la corteza terrestre su concentración es de  $\approx 2.7$  ppm, lo cual lo hace tan abundante como el arsénico o el boro (Ch80; Ka84). La roca fosfática, que se utiliza como fertilizante, puede contener hasta más de 120 ppm. También hay uranio en el carbón, por tanto está presente en las cenizas de carbón y en los efluentes de las plantas de carbón (Ka84). El mineral más importante es la uranita, en el que la concentración de uranio varía entre 50 y 90 %. Otro mineral que contiene aproximadamente 54% de uranio es la carnotita (Ch80).

Subserie  $^{230}\text{U}$ .

De acuerdo con el UNSCEAR (1988), el uranio consiste de  $^{230}\text{U}$  en equilibrio radiactivo con  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{234\text{m}}\text{Pa}$  y  $^{234}\text{U}$ , de manera que 1 Kg de uranio contiene 12 MBq de cada uno de estos núclidos.

En la atmósfera, la principal fuente natural de uranio, así como la de cualquier otro precursor de alguno de los isótopos del radón, son las partículas de polvo en suspensión provenientes de la superficie terrestre. El promedio anual de incorporación en el agua es de 5 Bq, el mismo valor para la ingestión de alimentos (UNSCEAR88). El valor promedio de la concentración de actividad del  $^{230}\text{U}$  en los huesos del adulto que ha vivido en zonas de radiación "normal" se estima en 50 mBq/kg. En el tejido blando, a excepción de los pulmones, la concentración es menor (UNSCEAR88).

$^{230}\text{Th}$ .

El  $^{230}\text{Th}$  tal vez sea el contribuyente más importante a la dosis a pulmón que se recibe por la inhalación de polvos que contienen uranio (Ka84). El torio un actínido, tiene un largo tiempo de residencia en el esqueleto y se concentra en la superficie de los huesos (UNSCEAR88).

$^{226}\text{Ra}$ .

El  $^{226}\text{Ra}$  es otro miembro importante de esta serie pues su descendiente, el  $^{222}\text{Rn}$ , es un gas que se difunde en tierra y aire. El  $^{226}\text{Ra}$  (un emisor  $\alpha$ ) y sus productos de decaimiento, son responsables de una gran parte de la dosis recibida por los humanos de los emisores internos naturales. La concentración de los 2 principales isótopos del radio, el  $^{226}\text{Ra}$  y el  $^{228}\text{Ra}$  (descendientes del uranio y del torio, respectivamente) está influenciada por factores geológicos y geoquímicos. Hay más  $^{232}\text{Th}$  que  $^{238}\text{U}$  en la naturaleza con respecto a actividad, pero algunos factores geoquímicos provocan concentraciones locales de uranio, lo cual con frecuencia resulta en mayores cantidades de  $^{226}\text{Ra}$  en relación al  $^{228}\text{Ra}$  (E187).

El  $^{226}\text{Ra}$  se encuentra también en pequeñas concentraciones en

la atmosfera, en cuyo caso las fuentes son humos y cenizas volcánicas, incendios forestales, meteoritos y la combustión del carbón (KaB4). A diferencia del uranio y del torio, el radio es soluble y forma fácilmente compuestos que adsorben las plantas; así, a través de la cadena alimentaria, pasa a los seres humanos (E187).

La contribución del agua es pequeña cuando las fuentes del agua son superficiales; pero en aguas de pozos profundos, las concentraciones de  $^{220}\text{Ra}$  varían mucho y son comunes niveles de hasta 200 Bq/l. Cuando el radio entra al cuerpo, su comportamiento metabólico es similar al del calcio y una fracción considerable se deposita en el hueso (más del 70%); el resto se distribuye más o menos uniformemente en los tejidos blandos (UNSCEAR88).

Para estimar las dosis anuales absorbidas por los tejidos del  $^{220}\text{Ra}$  y sus productos de decaimiento, es necesario conocer la fracción de radón retenida por el tejido en que se deposita, puesto que la mayor parte de la dosis se debe a las emisiones  $\alpha$  del decaimiento del radón y sus descendientes. Se asume un factor de retención promedio de 0.3 del  $^{222}\text{Rn}$  en el esqueleto (así como en los tejidos blandos) y que la concentración del radio y sus productos de decaimiento es uniforme sobre el hueso.

$^{222}\text{Rn}$  y sus productos de decaimiento de vida corta ( $^{210}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  y  $^{214}\text{Po}$ ).

En las Tablas 2 y 3 se presentan las incorporaciones anuales y la dosis equivalente efectiva para la exposición a los núclidos de esta subserie.

$^{222}\text{Rn}$  y sus productos de decaimiento de vida larga ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  y  $^{210}\text{Po}$ ).

Esta subserie es un componente importante a la dosis por irradiación interna provocada por los emisores  $\alpha$  (UNSCEAR77). La principal fuente de  $^{210}\text{Po}$  en la atmósfera es la emanación de  $^{222}\text{Rn}$  del suelo. Considerando que las concentraciones en el aire son iguales dentro que fuera de las construcciones, la incorporación anual por inhalación para quienes no fuman es de 4 Bq de  $^{210}\text{Pb}$  y

TABLA 2. INCORPORACIONES DE  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  Y DE SUS PRODUCTOS DE DECAIMIENTO EN AREAS NORMALES.

FUENTE	INCORPORACION ANUAL (Bq)	
	INHALACION	INGESTION
<b>SERIE <math>^{238}\text{U}</math></b>		
$^{238}\text{U}$	0.01	5
$^{230}\text{Th}$	0.01	2
$^{226}\text{Ra}$	0.01	15
$^{222}\text{Rn}$	200000	300
$^{210}\text{Pb}$	4	40
$^{210}\text{Po}$	0.3	40
<b>SERIE <math>^{232}\text{Th}</math></b>		
$^{232}\text{Th}$	0.01	2
$^{228}\text{Ra}$	0.01	15
$^{220}\text{Rn}$	100000	

UNSCEAR, 1988.

91

91

TABLA 3. DOSIS ABSORBIDAS ANUALES ( $\mu\text{Gy}$ ) RESULTANTES DE LA IRRADIACION INTERNA DE LOS EMISORES  $\alpha$  DE LAS SERIES DEL  $^{238}\text{U}$  Y  $^{232}\text{Th}$ .

FUENTE	GONDODAS	PECHO	PULMONES	MEDULA ROJA OSEA	CELULAS DE REVEST. DE LOS HUESOS	TIROIDES	RIÑONES	HIGADO	OTROS TEJIDOS	DOSIS EQUIVALENTE EFECTIVA ( $\mu\text{Sv}$ )
SERIES DEL $^{238}\text{U}$										
$^{218}\text{U} \rightarrow ^{214}\text{U}$	0.32	0.09	0.69	0.17	1.2	0.09	0.23	0.14	0.09	5
$^{210}\text{Th}$	0.007	0.00	0.47	0.56	7.4	0.007	0.24	0.02	0.007	7
$^{226}\text{Ra}$ a)	0.17	0.17	0.17	0.46	6.4	0.17	0.17	0.17	0.17	7
$^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{214}\text{Po}$			630 b)							845
$^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{210}\text{Po}$	5.4	5.4	2.7	5.1	36	6.4	5.4	5.4	5.4	120
SERIES DEL $^{232}\text{Th}$										
$^{212}\text{Th}$	0.003	0.00	0.4	0.17	2.0	0.003	0.06	0.04	0.003	3
$^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$	0.08	0.08	2.4	0.36	4.4	0.08	1.6	0.8	0.08	13
$^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$	0.3	0.3	44	2.6	20	0.3	19	3.2	0.3	160
TOTAL ( $\mu\text{Sv}$ ) d)	31	18	970	20	51	4	32	12	22	1160

a) INCLUYE LAS DOSIS RESULTANTES DE LA FORMACION DE  $^{222}\text{Rn}$  Y SUS PRODUCTOS DE DECAIMIENTO DE VIDA CORTA EN EL CUERPO POR DECAIMIENTO DEL  $^{226}\text{Ra}$ , CONSIDERANDO UN FACTOR DE RETENCION DE 0.3

b) ARBOL TRAQUEO-BRONQUIAL

c) PULMONES

d) CONTRIBUCIONES A LA DOSIS EQUIVALENTE ANUAL

de 0.3 Bq para el  $^{210}\text{Po}$ . Un cigarrillo contiene más o menos 20 mBq de  $^{210}\text{Pb}$  y 15 mBq de  $^{210}\text{Po}$ , y son volátiles a la temperatura de combustión del tabaco. Aproximadamente el 10 % del  $^{210}\text{Pb}$  y el 20% del  $^{210}\text{Po}$  que contiene los cigarrillos entran a pulmón. Así que para una persona que fuma 20 cigarrillos al día, las concentraciones en pulmón aumentan en un factor de 5 para el  $^{210}\text{Pb}$  y de 3 para el  $^{210}\text{Po}$  (UNSCEAR82; UNSCEAR88).

Debido a su corta vida media (5.01 días) la concentración de actividad del  $^{210}\text{Bi}$  es igual a la del  $^{210}\text{Pb}$ , ya que se supone que se encuentran en equilibrio radiactivo en los tejidos corporales; esto implica que la dosis adsorbida del  $^{210}\text{Bi}$  se debe principalmente a la ingesta del  $^{210}\text{Pb}$  y no a la del  $^{210}\text{Bi}$ . Las concentraciones del  $^{210}\text{Pb}$  en el agua son casi siempre bajas y su contribución no es importante a la ingesta total (UNSCEAR88).

El plomo es un osteófilo y tiene un largo tiempo de residencia en el esqueleto (UNSCEAR88). A diferencia de otros emisores  $\alpha$  naturales, el  $^{210}\text{Po}$  se distribuye en tejidos blandos y no en huesos (E187). Entonces, la mayor parte de la actividad del  $^{210}\text{Po}$  en huesos procede de la desintegración del  $^{210}\text{Pb}$  depositado (UNSCEAR82). Las dosis absorbidas de esta subserie dependen básicamente de las partículas  $\alpha$  altamente energéticas del  $^{210}\text{Po}$ , ya que la contribución de las emisiones  $\beta$  del  $^{210}\text{Pb}$  y del  $^{210}\text{Bi}$  sólo contribuyen un 10% del total.

#### 1.1.2.1.2) Serie del $^{232}\text{Th}$ .

La serie del torio consiste de un grupo de radionúclidos relacionados a través de su decaimiento, en el que todos los números de masa son divisibles entre 4 (serie  $4n$ ) (Fig. 3), y tiene su origen en el  $^{232}\text{Th}$ . El núclido terminal de esta serie es el  $^{208}\text{Pb}$  estable. La transformación del  $^{232}\text{Th}$  al  $^{208}\text{Pb}$  requiere de 6 decaimientos  $\alpha$  y 4 decaimientos  $\beta$  ( $\text{Ch80}$ ). Esta serie también incluye radionúclidos ambientalmente importantes y, al igual que la serie del uranio, contiene un isótopo radiactivo del gas radón,

el  $^{226}\text{Rn}$ . Esta serie se ha dividido en tres subseries: el  $^{232}\text{Th}$  mismo;  $^{226}\text{Ra} \longrightarrow ^{224}\text{Ra}$ ; y  $^{226}\text{Rn} \longrightarrow ^{208}\text{Pb}$ . Para cada subserie, en las Tablas 2 y 3 se encuentran las incorporaciones estimadas, así como las dosis absorbidas anuales (UNBCEAR88).

El torio natural contiene el 100% del isótopo  $^{232}\text{Th}$ . La radiactividad específica del torio es aun menor que la del uranio, de manera que generalmente se trata como un elemento no radiactivo. El torio es más común en la naturaleza que el uranio, con un contenido promedio en la corteza terrestre de 12 ppm (como comparación, la abundancia promedio del plomo es de 16 ppm en la corteza terrestre) (Ch80). El contenido de torio en las rocas ígneas es aproximadamente 4 veces la del uranio, pero como la actividad específica del  $^{232}\text{Th}$  es de 0.11 pCi/g, en comparación con 0.33 pCi/g del  $^{238}\text{U}$ , la radiactividad debida a los 2 núclidos es casi de 1:1 (E187; Ka84). El mineral más común que contiene torio es la monazita y tiene entre 1 y 15% de  $\text{ThO}_2$ . Este es un mineral insoluble de tierras raras compuesto en su mayoría por fosfatos de cerio, lantano y torio.

Debido a su relativa insolubilidad y a su baja actividad específica, la cantidad de  $^{232}\text{Th}$  presente en materiales biológicos es insignificante. Diversos estudios muestran que las mayores concentraciones de torio se encuentran en nódulos y en pulmones, lo cual indica que la principal fuente de exposición para el hombre es la inhalación de partículas suspendidas. Debido a que este radionúclido se elimina muy lentamente, las concentraciones tanto de  $^{230}\text{Th}$  (de la serie del uranio) como del  $^{232}\text{Th}$ , tienden a incrementarse con la edad (E187).

Subserie  $^{228}\text{Ra}$  ( $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{228}\text{Th}$  y  $^{224}\text{Ra}$ ).

El radio es mucho más asequible a las plantas y animales que el  $^{232}\text{Th}$ , de manera que las concentraciones de actividad del  $^{228}\text{Ra}$  en los humanos se debe principalmente a la incorporación del  $^{228}\text{Ra}$  y no al decaimiento del  $^{232}\text{Th}$  en el cuerpo. En esta subserie el  $^{228}\text{Th}$  y el  $^{224}\text{Ra}$ , ambos emisores  $\alpha$ , son la contribución más importante a la dosis. Las dosis absorbidas anuales en tejidos se han calculado suponiendo que la actividad del  $^{226}\text{Rn}$  procedente del



decaimiento del  $^{224}\text{Ra}$  se retiene en el cuerpo, y la concentración de  $^{226}\text{Ra}$  y sus productos de decaimiento es uniforme en el hueso.

$^{220}\text{Rn}$  y sus productos de decaimiento ( $^{216}\text{Po}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{212}\text{Po}$  y  $^{208}\text{Tl}$ ).

Al igual que en el caso del  $^{222}\text{Rn}$ , la inhalación es la principal ruta a través de la cual los humanos están expuestos al  $^{220}\text{Rn}$  (torón) y sus productos de decaimiento de vida corta (UNSCEAR88).

El índice de intercambio de aire dentro de los edificios siempre es mucho menor que la constante de decaimiento del torón, de manera que su concentración en el aire es relativamente insensible al valor del índice de ventilación. La concentración de torón en el aire dentro de los edificios está determinada por el índice de emanación del suelo y de los materiales de construcción (UNSCEAR88). El torón, está constantemente presente en el aire que entra a los pulmones, en la misma concentración que se encuentra en el aire inhalado; además, se disuelve parcialmente en el tejido pulmonar. Debido a su corta vida media, no se alcanza un equilibrio en otros tejidos. Entonces, el decaimiento del torón y del  $^{216}\text{Po}$  (vida media = 0.15 seg) da lugar a una dosis principalmente en pulmón. En cambio, el  $^{212}\text{Pb}$  se transfiere principalmente a células sanguíneas, riñones y superficie de los huesos (UNSCEAR82).

#### 1.1.2.2) Productos de decaimiento del radón.

El  $^{222}\text{Rn}$  es precedido en la serie de decaimiento del  $^{238}\text{U}$  por el  $^{226}\text{Ra}$ , el cual tiene una vida media de 1,600 años. El  $^{222}\text{Rn}$  decae en varios pasos a isótopos radiactivos con vidas medias cortas:  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , y  $^{214}\text{Po}$ . Estos isótopos son por lo común conocidos como productos de decaimiento del radón. Los productos de decaimiento del radón son químicamente reactivos y pueden adherirse por sí mismos a las paredes, piso, o partículas en el aire que son inhaladas por los pulmones. Los productos de decaimiento del radón libres pueden también inhalarse y después depositarse en el tejido pulmonar.

Los 4 productos de decaimiento del  $^{222}\text{Rn}$  antes mencionados tienen vidas medias de menos de 30 minutos. Esta vida media corta es importante puesto que una vez depositados en el tejido pulmonar, los productos de decaimiento sufren un decaimiento considerable antes de que la mucosa de los tubos bronquiales "elimine" a las partículas radiactivas. Dos de los productos de decaimiento de vida corta,  $^{218}\text{Po}$  y  $^{214}\text{Po}$ , emiten partículas  $\alpha$  durante el proceso de decaimiento.

#### 1.1.2.2.1) Relación entre la concentración del radón y la de los productos de decaimiento.

Son los productos de decaimiento del radón antes que el radón, quienes son los responsables de la mayor parte del riesgo a la salud debido al radón interior. Dependiendo del dispositivo de medición, cualquiera de las dos concentraciones del radón o de sus productos de decaimiento pueden medirse directamente (en picocuries por litro y niveles de trabajo, respectivamente). La relación entre las 2 unidades depende del límite al cual el equilibrio radiactivo se alcanza entre el radón y sus productos de decaimiento.

En un espacio cerrado, una cierta concentración de radón (la cual representa una velocidad de decaimiento radiactivo por unidad de volumen) tiende a alcanzar un estado de equilibrio con sus productos de decaimiento, donde las velocidades de formación (vía el decaimiento del elemento predecesor) y la de decaimiento de cada producto de decaimiento son iguales. En perfecto equilibrio, 100 pCi/l de radón están en equilibrio con exactamente 1 WL de los productos de decaimiento del radón (este estado se llama equilibrio secular). Sin embargo, otros procesos (tales como adhesión de los productos de decaimiento a las paredes o pisos) tienden a remover algunos productos de decaimiento del aire antes de que ellos se desintegren, por lo tanto el equilibrio secular nunca se alcanza.

El grado de desequilibrio se mide a través de la fracción de equilibrio. La fracción de equilibrio es el cociente de la concentración de los productos de decaimiento entre la concentración del radón multiplicada por 100.

$$\text{Fracción de equilibrio} = \frac{(\text{WL}) \times 100}{(\text{pCi/l})}$$

Los datos reunidos de las casas en las cuales el radón y sus productos de decaimiento se midieron simultáneamente indican que el rango de la fracción de equilibrio es de 0.3 a 0.7, con un promedio de 0.5 (Ge85). Utilizando la fracción de equilibrio promedio de 0.5, un cociente de 200 picocuries por litro de radón entre 1 nivel de trabajo de los productos de decaimiento, se obtiene por lo común en el medio ambiente residencial.

#### 1.2) Unidades de medición.

El nivel de radioactividad se mide en curies, donde 1 curie es igual a  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo. El tiempo requerido para que la actividad específica dada de un isótopo sea reducida a la mitad se llama vida media. Un picocurie (pCi) es igual a 1 billonésimo de curie. La concentración de actividad específica se mide por lo común en picocuries por gramo (en un sólido) o picocuries por litro (en un gas, como lo es el aire), en la Tabla 4 se indican las unidades y equivalentes SI.

La concentración del radón o la individual de cada uno de los productos de decaimiento del radón, se mide en picocuries por litro (pCi/l). Sin embargo, la concentración de los productos de decaimiento de vida media corta en conjunto también se mide en unidades de niveles de trabajo (WL). Un nivel de trabajo se define como la cantidad de productos de decaimiento de vida media corta que tienen la capacidad de liberar  $1.3 \times 10^{11}$  electrón volts de energía de partícula alfa por litro de aire. La relación entre los picocuries por litro y los niveles de trabajo, generalmente depende del grado de equilibrio radiactivo entre el radón y sus productos de decaimiento.

### TABLA 4. UNIDADES SI Y EQUIVALENTES PARA UNIDADES TRADICIONALES

WL = DESCENDIENTES DE VIDA CORTA DEL RADON POR LITRO DE AIRE QUE EMITEN 1.3 E5 MeV DE ENERGIA  $\alpha$ .

WLM = EXPOSICION DURANTE 173 HORAS DE TRABAJO AL MES, A UNA CONCENTRACION DE RADON DE 1 WL.

PARAMETRO, UNIDADES SI	CONVERSION PARA UNIDADES TRADICIONALES
ACTIVIDAD, Bq	1 Ci = 3.7 E10 Bq (1 pCi = 0.037 Bq)
CONCENTRACION, Bq m <sup>-3</sup>	1 pCi/L = 37 Bq m <sup>-3</sup>
PAEC, J m <sup>-3</sup>	1 WL = 1.3 E5 MeV/L = 2.08 E-5 J m <sup>-3</sup>
EEDC222, Bq m <sup>-3</sup>	1 WL (PAEC) = 3740 Bq m <sup>-3</sup>
<sup>222</sup> EEDC220, Bq m <sup>-3</sup>	1 WL (PAEC) = 276 Bq m <sup>-3</sup>
EXPOSICION, J m <sup>-3</sup> s	1 WLM = 12.97 J m <sup>-3</sup> s
EXPOSICION, Bq m <sup>-3</sup> a	1 WLM = 73.9 Bq m <sup>-3</sup> a
VELOCIDAD DE EXPOSICION, J m <sup>-3</sup>	1 WLM/a = 4.11 E-7 J m <sup>-3</sup>
VELOCIDAD DE EXPOSICION, Bq m <sup>-3</sup>	1 WLM/a = 73.9 Bq m <sup>-3</sup>
EXPOSICION, Bq h m <sup>-3</sup> (eq. Rn)	1 Bq h m <sup>-3</sup> (eq. Rn) = 0.00562 $\mu$ J h m <sup>-3</sup> = 1.6 E-6 WLM
EXPOSICION, Bq h m <sup>-3</sup> (eq. Tn)	1 Bq h m <sup>-3</sup> (eq. Tn) = 0.0758 $\mu$ J h m <sup>-3</sup> = 2.16 E-5 WLM
CONCENTRACION	1 WL = 100 pCi/L DE Rn 222 EN EQ. CON DESCENDENCIA

BROWNE, E., AND FIRESTONE, R.B. (1986). "TABLE OF RADIOACTIVE ISOTOPES." WILEY-INTERSCIENCE, NEW YORK.

## CAPITULO 2

### 2.1) Procedencia del radón.

El  $^{222}\text{Rn}$  se encuentra virtualmente en todas partes en pequeñas cantidades porque su predecesor, el  $^{226}\text{Ra}$  (o, más distante, el  $^{238}\text{U}$ ), se encuentra en todas las rocas y el suelo. En el aire exterior, la concentración de radón es por lo común menor de 1 picocurie por litro (pCi/l), con una concentración típica menor de 0.5 pCi/l. La mayor concentración de radón en el exterior puede observarse durante períodos breves, como lo es durante una inversión de temperatura, cuando una masa de aire caliente atrapa una masa fría abajo de ella. Se han encontrado niveles exteriores aislados por encima de 4 picocuries por litro. Las concentraciones en el aire interior pueden variar desde 0.5 pCi/l hasta por encima de 2,000 pCi/l, con datos limitados que indican que el valor promedio para las casas está en el rango de 1 a 2 pCi/l de radón ( $\text{Np86}$ ). La mayor parte del radón interior proviene de las rocas aunque otras fuentes de radón interior menos importantes son el agua y algunos materiales de construcción. Es sin embargo la combinación de un cierto número de factores, los que determinan los niveles de radón interior. Entre estos factores se incluye al factor geológico y a las características de la construcción.

### 2.2) Factores geológicos.

Los factores geológicos que controlan la aparición de radón pueden agruparse en 3 categorías ( $\text{Np86}$ ): el radio (o el uranio) contenido en las rocas cercanas y en el material superficial; las características físicas del material superficial; y las fallas o fracturas en las rocas o en el material superficial. Estos factores determinan la cantidad de radón que se produce en el gas del suelo y la facilidad con la que este gas contaminado con radón pueda moverse a través del suelo. La cantidad de radón en el gas del suelo y la permeabilidad del material superficial son los factores naturales más significativos que influyen en la concentración de radón interior, pero es la interacción entre el

radón en el gas del suelo, la permeabilidad del suelo, y las características estructurales de la casa, los que determinan los niveles reales de radón interior. Los estudios apoyan la idea de que existe una relación entre el contenido de uranio en la tierra y el nivel de radón en la casa. A un mayor contenido de uranio, aumenta el riesgo de más altos niveles de radón interior, no obstante el tipo de cimiento o casa (Ak84).

### 2.3) Radón en las rocas.

Se considera que la concentración promedio de uranio en la corteza terrestre es de 2 a 4 ppm o de 0.68 a 1.3 pCi/g (F173 y Er73). Sin embargo, existe una amplia variación en la concentración de uranio, incluso dentro de la misma formación rocosa o el mismo tipo de roca. Bajo el mismo sitio geológico, casi cualquier tipo de roca puede tener una elevada concentración de uranio, pero las rocas por lo común más enriquecidas con uranio son ciertos tipos de rocas graníticas, pizarras negras (carbonosa), y rocas fosfáticas. En algunos casos, las rocas normalmente bajas en contenido de uranio que se encuentran cerca de las zonas enriquecidas con uranio contienen uranio y son responsables de los problemas del radón en el interior.

Es común que la concentración de uranio en los granitos varíe de 2 a 10 ppm, con un promedio de 3 a 4 ppm, los granitos con concentraciones de uranio arriba de 4 ppm se consideran una fuente de moderada a alta de radón. Algunos granitos con más de 10 ppm de uranio se les considera una gran fuente de radón. Por lo general la roca granítica tiene la capacidad de crear agudos problemas de radón a causa de las fracturas, fallas, y la elevada concentración de uranio.

En general, la pizarra negra (carbonosa) es más propensa a poseer uranio que otras pizarras a causa del contenido de carbón y a las condiciones oxidantes bajo las cuales se forma. La pizarra negra uranífera promedia arriba de 20 ppm de uranio, pero puede contener más de 250 ppm (8w61). La pizarra negra fosfática,

ocasiona el más alto número de problemas de radón en el interior debido a su amplia distribución y su contenido de uranio si se encuentra en la superficie. La pizarra negra con un contenido de uranio mayor de 4 ppm se considera una fuente de mínima a moderada de radón. Debido a la afinidad química del uranio por los fosfatos, la roca fosfática contiene niveles muy elevados de uranio. Es común en las rocas fosfáticas con un promedio de 100 ppm de uranio o más que el tener más uranio se asocia con un mayor contenido de fosfato.

Las rocas carbonatadas (piedras calizas y dolomita) por lo común promedian de 2 a 3 ppm de uranio. Sin embargo, en algunos casos son rocas anfitrionas para el uranio, esto es posible cuando existen zonas de fractura o de falla. Es posible que los carbonatos fosfóricos sean un problema en algunas áreas debido a sus características de desgaste y a su posible contenido de uranio por arriba del promedio. En general, la arenisca no es uranífera, aunque la arenisca continental derivada de rocas enriquecidas con uranio, son muchas veces uraníferas. Las rocas menos probables de contener uranio son las lavas basálticas, o su equivalente metamórfico, y la roca que tiene una composición química similar.

Las fracturas y las fallas originan amplios senderos de migración para el radón, por lo que aumenta el flujo de radón y el movimiento de radón en la casa. Las fracturas y las fallas están algunas veces asociadas con las elevadas concentraciones de uranio debido a que los fluidos en contacto con el uranio depositan el uranio dentro de las zonas de fractura o de falla. Algunos suelos pueden contraerse y producir grietas con una permeabilidad relativamente alta. En algunas ocasiones el material superficial tiene fracturas que pueden aumentar la permeabilidad por arriba de 3 ó más ordenes de magnitud (We86). En caso de extrema permeabilidad, los suelos con un contenido de radio relativamente bajo pueden originar riesgos por el radón.

## 2.4) Radón en el suelo.

Los suelos juegan dos importantes papeles en la aparición del radón. Muchos de los suelos se derivan de las rocas inmediatamente subyacentes, por lo tanto tienden a tener composiciones minerales similares a la roca madre. Si la roca subyacente es una fuente de radón, los suelos asociados son también una fuente de radón. Los suelos contienen un promedio de 1 a 3 ppm de uranio y una cantidad similar de radioactividad, pero estos niveles varían, dependiendo de la roca de la cual se forma y de las condiciones ambientales durante el período de formación del suelo.

El nivel promedio de radio en el suelo es de 1 pCi/g (DeB6; My83); sin embargo, incluso esta cantidad de radio puede causar problemas en algunos casos. Las investigaciones al respecto demuestran que aquél que se considera un nivel normal de 1 pCi/g de radio en el suelo produce fácilmente entre 200 a más de 1,000 pCi/g de radón en condiciones típicas del suelo (Ta86; Br83). No todo el radón que se produce en el suelo y en las rocas llena el espacio de los poros del suelo. Algo del radón permanece atrapado dentro de los granos del suelo o de la roca o queda depositado en los granos contiguos y no escapa por los espacios del poro. Esto es una función del tamaño de grano y de la porosidad del material madre. Tal vez el factor más importante en la producción y migración del radón, es la presencia del agua en el suelo. El agua sobre el poro del suelo disminuye la producción de radón puesto que el agua reduce el rango regular del radón y evita que el átomo de radón se deposite en los granos del suelo adyacente. El átomo de radón se difunde en el aire que está dentro de los espacios del poro de donde puede migrar ligeramente a través del suelo.

Si los espacios del poro están totalmente saturados, como es en el caso del agua estancada o después de una pertinaz lluvia, el átomo de radón no forma parte del gas del suelo. Esto se debe a que el agua impide la migración del radón disminuyendo el coeficiente de difusión y ella misma absorbe los átomos de radón (Ta86). En resumen, el transporte de radón a través del suelo aumenta conforme la humedad del suelo aumenta, hasta que el



contenido de humedad es tan grande que otro aumento en la humedad del suelo comienza a reducir el transporte de radón. La permeabilidad del suelo juega un rol importante en el transporte del radón ya que el suelo es un medio a través del cual el radón viaja, las altas permeabilidades del suelo favorecen niveles más altos de radón, mientras que las permeabilidades más bajas retardan el movimiento del radón y reducen la probabilidad de introducción del radón a una casa. Para determinar la posibilidad real de encontrar radón en un sitio, es necesario el considerar varias variables, incluyendo el contenido de radio en el suelo, la permeabilidad del suelo, y la difusividad.

#### 2.5) Radón en el agua.

Otra fuente de radón interior es el agua subterránea. Así como con el radón del suelo, el principal riesgo originado por el radón del agua es el riesgo de cáncer pulmonar inducido por la inhalación del radón que se ha liberado del agua al aire. En general, el agua potable contribuye del 1% al 7% del radón que se encuentra en el aire interior (Co85).

Todo proceso que expone el agua al aire libera radón. El radón se libera en la casa durante las actividades tales como la ducha, lavado de ropa, y el vaciado de agua en los inodoros. La mayoría de las casas se abastecen a través de suministros públicos de agua que son aireados por tratamientos sencillos antes de que el agua llegué a las casas y, por tanto tiene niveles de radón relativamente bajos. Las casas con agua de otras fuentes, como los pozos privados, pueden contener niveles de radón extremadamente elevados.

La concentración promedio de radón en el agua potable de los suministros públicos en los E.U. es de 240 pCi/l (Co86). El promedio para los suministros de agua potable de fuentes subterráneas es de 420 pCi/l (Co86). Se estima que 10,000 pCi/l de radón en el agua originan 1 pCi/l de radón en el aire interior, considerando el agua de uso normal y una casa con características

normales (Co86).

## 2.6) Radón en los materiales de construcción.

El radón también se libera de muchos materiales de construcción, pero normalmente a muy bajos niveles. La madera tienden a emitir el mínimo de radón, mientras que el ladrillo, el cemento, y el bloque de escoria emiten más. El radón se libera de todas estas fuentes a tan baja proporción que estos materiales son contribuyentes raramente importantes en los elevados niveles de radón. Sin embargo, existen unos pocos casos en los cuales los materiales que contienen concentraciones significativas de radio se han utilizado para fabricar materiales de construcción. Por ejemplo las casas construidas con materiales contaminados con desechos industriales de uranio o radio y desperdicios de fosfatos uraníferos.

Para la mayoría de las casas, el mayor contribuyente de radón es el suelo subyacente, especialmente si contiene cantidades significativas de radio. La contribución del agua no es tan significativa como la contribución del suelo en muchos casos. Los materiales de construcción contribuyen con una cantidad mínima de radón, excepto en aquellos casos inusuales donde los materiales son derivados de fuentes naturalmente radiactivas o que se han contaminado con desperdicios que contienen radio ó desechos laminares de vanadio y uranio.

## CAPITULO 3

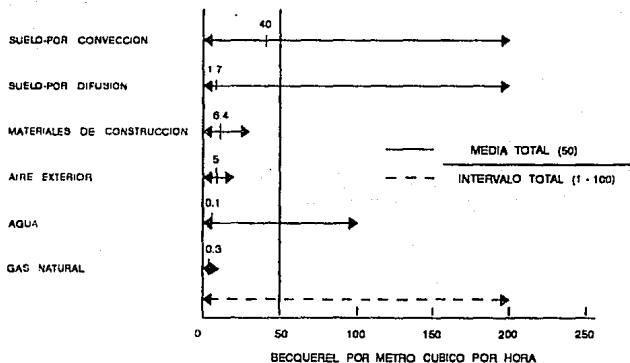
### 3.1) Vías de introducción del radón a una casa.

Las fuentes primarias de radón interior en una casa son el suelo y las rocas adyacentes a la construcción; las fuentes secundarias son el agua potable de manantial y los materiales de construcción. La atmósfera de las habitaciones se ha estudiado tardíamente en contraste a las minas de uranio por lo que las primeras mediciones de radón en esta área son reportadas al inicio de los años cincuenta. La concentración del radón y de sus productos de decaimiento en el aire de las habitaciones depende no solo de su grado de infiltración a partir de diversas fuentes (suelo, materiales de construcción, agua y gas natural) y de su concentración en el aire exterior, sino también de la ventilación de la habitación, de las condiciones climatológicas y de las costumbres de sus ocupantes. En la Fig.5 se muestra la tasa de entrada del radón para una casa de referencia.

### 3.2) Mecanismos de inducción del flujo de radón.

La fuente principal de radón interior es el decaimiento del radio en el suelo adyacente al edificio. Generalmente, el suelo es nativo del lugar; sin embargo, en algunos casos, los productos industriales como lo son los desechos de fábricas y los desperdicios mineros de fosfato son la fuente dominante de radón en el suelo. El radón del suelo entra a una casa a través de 2 mecanismos de transporte: difusión molecular (movimiento desde una área de alta concentración a una de baja concentración a presión constante) y flujo por presión (movimiento de una área de alta presión a una área de baja presión). La difusión no puede explicar los altos niveles de radón interior descubiertos en algunas casas, pero, por el contrario, la diferencia de presión entre el aire interno y el externo parece ser más determinante.

FIG.5 TASA DE ENTRADA DEL RADON EN UNA CASA DE REFERENCIA



TASAS DE ENTRADA DEL RADON EN UNA CASA DE REFERENCIA. PARAMETROS: 250 m<sup>3</sup>; SUPERFICIE DEL PISO: 100 m<sup>2</sup>; SUPERFICIE DE LAS PAREDES Y LOS TECHOS: 300 m<sup>2</sup>; SUPERFICIE TOTAL: 450 m<sup>2</sup>; TASA DE INTERCAMBIO DE AIRE: 1 h<sup>-1</sup>; GROSOR DEL HORMIGON EN PISOS Y TECHOS: 0.2 m; GROSOR DE LAS PAREDES DE LADRILLO EXTERIORES: 0.2 m.

## BOLETIN DEL OIEA, 2/1989

El flujo por presión, donde el radón es en realidad sacado de la habitación, está influenciado por varios factores. Durante la temporada de calentamiento, la temperatura interior es a menudo más alta que la temperatura exterior, lo que origina que el aire caliente interno sea desplazado por el aire frío externo. Esta tendencia se llama efecto de chimenea puesto que el aire caliente tiende a subir como en una chimenea. La presión interna en la parte más baja de la pared y el piso, que resulta de este efecto origina que el radón salga de la casa desde el suelo circundante.

El viento es otro factor que origina una diferencia de presión y empuja el flujo de radón dentro del edificio. El viento origina un intercambio entre el aire de la habitación y el suelo. El aire interno fluye hacia el suelo sobre el sotavento lateral del edificio (donde las presiones externas son más bajas) y fluye desde el suelo en la casa sobre el barlovento lateral (donde las presiones externas son más altas). La presión barométrica y la precipitación son dos factores adicionales que afectan el flujo del radón dentro de una habitación (Ne2/84). La diferencia de presión originada por los dispositivos mecánicos en una casa es igualmente importante. Los abanicos de la cocina o del baño, las secadoras y las chimeneas arrastran el aire hacia afuera de la casa. Por otro lado, algunos ventiladores de habitación pueden sacar el aire externo de la casa. El efecto neto de estos procesos determina si la diferencia de presión resultante entre el aire interno y el externo puede sacar el radón de la casa. La variación de la concentración del radón es determinada por muchos factores, que incluyen la intensidad de la fuente de radón, la construcción de la casa, la velocidad de ventilación y la diferencia de presión entre el aire interno y el gas del suelo.

### 3.2.1) Transporte de radón desde el suelo.

Además de la diferencia de presión inducida por el flujo, el transporte de radón desde el suelo es afectado por otros factores tales como la velocidad de producción de radón en el suelo, la permeabilidad del suelo, el contenido de humedad y el tipo de subestructura del edificio. La intensidad de la fuente de radón explica mejor la diferencia entre los niveles de radón en varias casas en vez de la velocidad de ventilación interna (Ne2/84). La permeabilidad del suelo afecta fuertemente la entrada de radón, puesto que a mayor permeabilidad, es más fácil transportar el radón a través del suelo.

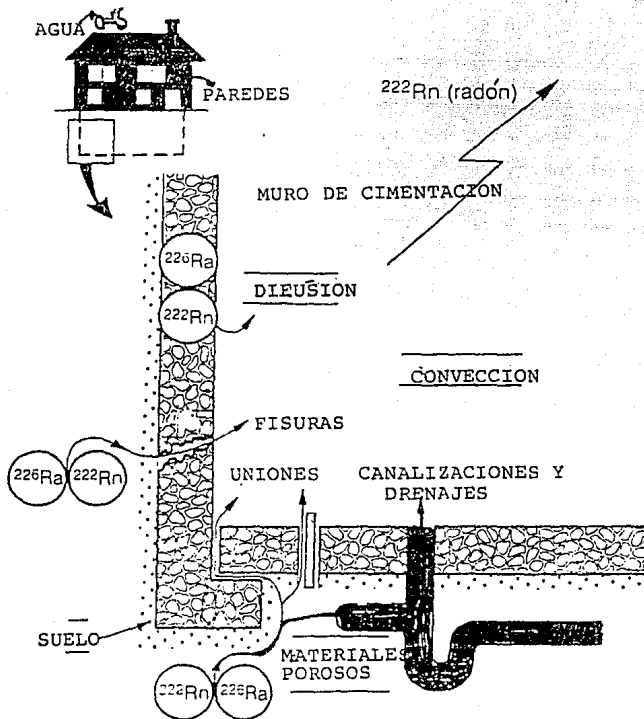
La subestructura del edificio también afecta la velocidad de entrada del radón. De los 3 tipos de subestructuras -- sótanos, espacios de arrastro y "slab - on - grade" -- el sótano presenta

velocidades más altas de entrada a causa de la gran área expuesta al suelo y a la mayor eficiencia de transporte del flujo por presión (Ne2/84). Aun si hay un espacio de arrastre ventilado separando el suelo de la casa, la entrada de radón en la casa desde el suelo subyacente es aun significativa. Una vez más, la diferencia de presión entre el aire interno y el externo causa el efecto de chimenea. El efecto de chimenea induce un mayor flujo uniforme de radón en el espacio de arrastre, si este espacio no tiene ventilación (Ne2/84). Los cimientos "slab-on-grade" (con losa en el suelo) son menos susceptibles a la alta velocidad de entrada del radón. Así como con todas las subestructuras el radón entra en las subestructuras con cimientos "slab-on-grade" a través de las grietas del piso y paredes, coyunturas, canalizaciones, drenajes y en el caso de sótanos pozos colectores (Fig. 6).

### 3.2.2) Transporte de radón a través del agua.

El radón entra en una casa al liberarse del agua que se utiliza en las actividades diarias. El radón fácilmente se adsorbe en el agua que fluye a través del suelo o las rocas que contienen al gas radón, debido a que la solubilidad del radón es mayor a una temperatura más fría como la del agua subterránea. Se estima que, en muchos casos, el radón en el agua potable contribuye del 1% al 7% en la concentración de radón en el aire interno.

El radón del agua se libera dentro de la casa cuando el agua se expone al aire y/o cuando se calienta. Por tanto, el radón se libera del agua a través del uso de artículos como calentadores, lavadoras, máquinas lavaplatos e inodoros. Las actividades domésticas que involucran el calentamiento del agua originan una más alta transferencia de radón hacia el aire. Estas actividades cooperan a la concentración de radón en el aire interno y, por tanto a la exposición por inhalación. El radón que queda en el agua se ingiere, ya que la ingestión no es por lo general la fuente más significativa de exposición no es el problema principal. Es la liberación del radón del agua al aire y la subsecuente inhalación lo que normalmente contribuye a la exposición (NCRPB4/77).



CLEFS. CEA, N° 13, 1989.

FIG. 6 PUNTOS DE ENTRADA DEL RADON.

### 3.2.3) Radón en los materiales de construcción.

El radón emana del material de construcción que contiene elevadas concentraciones de radio, sin embargo, esta fuente de radón es menos significativa que el radón que proviene del suelo (Ne83). Un ejemplo de un caso en el cual los materiales de construcción se consideraron como la mayor fuente del elevado nivel de radón interior aconteció en Suecia, donde las casas se construyeron utilizando la pizarra de alumbre, un material con alto contenido de radio (8w80). Otros ejemplos de materiales de construcción que tienen concentraciones ligeramente elevadas de radio incluyen la ceniza "fly" que se utiliza en el concreto, el fosfoyeso (un producto de desecho del procesamiento del fósforo) y el barro rojo (un subproducto del procesamiento de la bauxita a veces utilizada en los ladrillos) (Ne83). En cada caso, la fuente de radón es el material de construcción contaminado con los desechos de las actividades industriales. Con excepción de estos ejemplos la fuente predominante de entrada de radón es el suelo.

### 3.3) Radón en los edificios de multiniveles.

Los pocos estudios disponibles indican que la concentración en las estructuras de multiniveles es por lo común de unos cuantos décimos de un picocurie, considerablemente más baja que la concentración de las casas unifamiliares (Ne85). Esto se debe a que el espacio habitable o de trabajo está comúnmente alejado de la tierra. Para la mayoría de los edificios de departamentos y los edificios de multiniveles, se considera que el mayor contribuyente a la concentración de radón interior es el aire exterior y los materiales de construcción (Ne85).

En áreas donde la principal fuente de radón interior es el gas del suelo, los habitantes de los pisos más altos tienen exposiciones más bajas al radón que los habitantes del piso al nivel del suelo o del sótano. Sin embargo, en áreas donde la principal fuente de radón interior es el agua de pozo, la concentración interior es alta en los pisos más altos, debido a



que el agua primero se ventila en aquel piso. En general la mayoría de los edificios de multiniveles y de departamentos se ubican en áreas citadinas por lo que se conectan a suministros de agua públicos en vez de pozos. Los suministros de agua públicos por lo común son alimentados por depósitos en los cuales el agua se airea y por tanto el radón disuelto en ella se libera al aire exterior.

## CAPITULO 4

### 4.1) Riesgo a la salud por el radón.

El factor biológico de más interés en la determinación del riesgo de cáncer originado por los productos de decaimiento del radón es la dosis de radiación real liberada en las células del pulmón. Para determinar está, se necesita primero estimar la exposición acumulativa a los productos de decaimiento del radón. Por regla, la exposición acumulativa se mide en niveles de trabajo mensual (WLM), el cual se define cómo la exposición que un minero recibe durante 173 horas (el número aproximado de horas trabajadas en 1 mes) en un medio ambiente de 1 nivel de trabajo. Sin embargo, debido a que la exposición para los mineros y la promedio de las personas de las casas difieren se debe ajustar la exposición acumulativa residencial.

El primer factor de ajuste es la velocidad de inhalación, la cual determina el volumen de aire aspirado dentro de los pulmones y, por consiguiente, la cantidad de productos de decaimiento del radón que se inhalan y depositan en las vías respiratorias. La velocidad de respiración de un minero es de 30 l/min, si la mitad de su actividad es trabajo pesado y la otra mitad es "actividad ligera" (ICRP79), mientras que la velocidad de respiración de un adulto promedio es de 15.3 l/min (ICRP75). Un segundo factor es la duración de la exposición durante el año. Mientras que los mineros están expuestos sólo durante 173 horas cada mes, la exposición residencial ocurre durante todo el tiempo del año que se consume en casa. La EPA asume que el residente se expone a un cierto nivel de radón durante el 75% del tiempo (el residente está en la casa el 75% del día, en promedio). Por lo tanto, al corregir la diferencia en la velocidad de respiración y el tiempo de exposición, la exposición continua de un adulto promedio a una concentración de 1 nivel de trabajo durante 1 año es aproximadamente igual a una exposición acumulativa anual de 20 WLM para un minero.

$$\frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \times \frac{24 \text{ horas}}{\text{día}} \times 0.75 \times \frac{15.3 \text{ lpm}}{30.0 \text{ lpm}} \times \frac{1 \text{ WLM}}{173 \text{ horas}} = \frac{19.37 \text{ WLM}}{\text{año}}$$

19.37 WLM/año (efectivo).

Otros factores que también influyen en la exposición acumulativa efectiva son: el tamaño del pulmón, la ubicación y el tipo de células del pulmón irradiadas (lo cual depende de donde se depositan los productos de decaimiento), y la diferencia en la sensibilidad de las células pulmonares dependiendo de la edad y el sexo. Para estimar el riesgo de la exposición más allá de los años de observación, varios modelos de proyección de riesgo se utilizan (riesgo relativo o riesgo absoluto). El modelo de riesgo relativo extrapola el aumento porcentual del riesgo de cáncer pulmonar que se espera por unidad de dosis en futuros años, mientras que el modelo de riesgo absoluto extrapola el promedio del número observado de excesos de cáncer por unidad de dosis en futuros años en riesgo.

#### 4.2) Mecanismos de inducción del cáncer pulmonar.

La principal preocupación cuando se habló de los riesgos por la exposición al  $^{222}\text{Rn}$  no es la exposición al gas radón, si no la exposición a sus productos de decaimiento. Cuando el  $^{222}\text{Rn}$  decae, se forman productos de decaimiento de vida media corta, principalmente  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , y  $^{214}\text{Po}$ . El  $^{218}\text{Po}$ , el primer producto de decaimiento, tiene una vida media de un poco más de tres minutos. Esto es suficiente para que la mayoría de los átomos de polonio cargados eléctricamente se adhieran a las partículas de polvo del aire. Cuando se inhalan, estas pequeñas partículas tienen una gran probabilidad de adherirse al revestimiento epitelial húmedo del bronquio.

La mayoría de las partículas de polvo que se depositan en el bronquio del pulmón son tal vez removidas por la mucosa, pero no lo bastante rápido como para preservar el epitelio bronquial que está expuesto a las partículas  $\alpha$  del decaimiento del  $^{218}\text{Po}$  y el  $^{214}\text{Po}$ . Si bien ellos no pueden viajar lejos, las partículas  $\alpha$  que

se emiten en los pulmones dañan las células sensibles. Esta radiación altamente ionizada pasa a través de las células y libera dosis de radiación a las células pulmonares. Una partícula  $\alpha$  que penetra las células epiteliales puede depositar bastante energía como para matarla o transformarla. La célula transformada, tan sólo o a través de la interacción con algunos otros agentes, tiene la posibilidad de desarrollar casualmente el cáncer pulmonar.

Cuando el radón decae, la mayoría de sus productos de decaimiento quedan adheridos a las partículas de polvo o a los aerosoles de menos de 1 micra de tamaño. Sin embargo, algunos de los productos de decaimiento pueden inhalarse antes de que se adhieran. La dosis de radiación a los pulmones por los productos de decaimiento sueltos es de 9 a 35 veces la dosis por los productos de decaimiento adheridos (Ha81). Esto se debe a que los productos de decaimiento sueltos se depositan en aquellas porciones del pulmón (el principal y más profundo bronquio) que son más vulnerables a la inducción del cáncer pulmonar. En contraste, una porción más pequeña de los productos de decaimiento adheridos se depositan en las áreas sensibles del pulmón, por consiguiente producen un menor riesgo de cáncer pulmonar.

#### 4.3) Asociación del radón y el cáncer pulmonar.

El efecto de la exposición a las "emanaciones" del radio (en realidad radón y sus productos de decaimiento) fue relativamente mencionado con la mortalidad de cáncer pulmonar en los mineros de uranio de Bohemia. La misma asociación entre la exposición al radón-productos de decaimiento y el cáncer pulmonar se observó en actuales estudios epidemiológicos de mineros bajo tierra, no solo en mineros de uranio si no también en los de fluorita, hierro, zinc, y de estaño expuestos a elevados niveles de radón y sus productos de decaimiento. Se realizaron algunos estudios epidemiológicos recientes en Suecia y señalan un aumento del cáncer pulmonar asociado con la elevada exposición a los productos de decaimiento del radón en las casas (Ed83; Ed84; Ax79) (Tabla 5).

TABLA 5. CUADRO PARA LA EVALUACION DEL RIESGO POR EL RADON.

pCi / L	WL	(BASE 1000 CASOS) MUERTES DE CANCER PULMONAR POR EXPOSICION AL RADON	NIVELES DE EXPOSICION COMPARABLES	RIESGO COMPARABLE
200	1	440 - 770	1000 VECES EL NIVEL PROMEDIO EXTERIOR	MAS DE 60 VECES EL RIESGO DEL NO-FUMADOR
100	0.5	270 - 630	100 VECES EL NIVEL PROMEDIO INTERIOR	FUMAR 4 CAJETILLAS AL DIA 2000 RAYOS-X AL TORAX POR AÑO
40	0.2	120 - 360	100 VECES EL NIVEL PROMEDIO EXTERIOR	FUMAR 2 CAJETILLAS AL DIA
20	0.1	60 - 210	10 VECES EL NIVEL PROMEDIO INTERIOR	FUMAR 1 CAJETILLA AL DIA 5 VECES EL RIESGO DEL NO-FUMADOR
10	0.05	30 - 120	10 VECES EL NIVEL PROMEDIO EXTERIOR	200 RAYOS-X AL TORAX POR AÑO
4	0.02	13 - 50	10 VECES EL NIVEL PROMEDIO INTERIOR	RIESGO DE AGONIZAR POR CANCER PULMONAR DEL NO-FUMADOR
2	0.01	7 - 30	NIVEL PROMEDIO INTERIOR	20 RAYOS-X AL TORAX POR AÑO
1	0.005	3 - 13	NIVEL PROMEDIO EXTERIOR	
0.2	0.001	1 - 3		

#### 4.4) Relación entre el fumar y los riesgos del radón.

La evidencia actual indica que los fumadores tienen un más alto riesgo por la exposición al radón que los no fumadores. El análisis de un grupo de mineros de uranio en los E.U. (Wh83; Th85; Ho86), indica que los efectos por el fumar y el radón son más que aditivos en el origen del cáncer pulmonar. Un pequeño estudio de las exposiciones residenciales en Suecia proporciona otro soporte para esta conclusión (Ed83). Un estudio de laboratorio que combinó el humo del cigarro y la exposición al radón en las ratas indica un sinergismo entre los 2 factores en la inducción de cáncer pulmonar, congruente con la hipótesis de que la radiación actúa como un "iniciador" y el humo del tabaco como un "promotor" del proceso carcinógeno (Ch81).

La EPA considera que la evidencia actual soporta el concepto de que los riesgos por exposición al radón y al humo del cigarro son mayores que la suma de los riesgos para uno u otro por separado. De hecho, ellos pueden interactuar muy fuertemente como para producir riesgos multiplicativos. Para estimar el exceso de cáncer pulmonar debido a la exposición al radón, la EPA emplea el modelo de riesgo relativo en el cual el exceso es proporcional a la exposición al radón. Implícitamente, este modelo asume una interacción multiplicativa entre el radón y todos los otros factores de riesgo para el cáncer pulmonar, incluyendo el fumar. Esta implícito en el modelo de riesgo relativo que el fumar y la exposición al radón son ambos factores causales de algunos cánceres pulmonares, cerca del 85% de todos los cánceres son atribuibles al radón, desde luego, el fumar es un factor causal común. Los estudios epidemiológicos demuestran que el aumento de la exposición al radón en el medio ambiente residencial está asociada con la elevada mortalidad de cáncer pulmonar (Ax79; Ed84) (Tabla 5). El riesgo por unidad de exposición en estos estudios parece ser similar al riesgo por unidad de exposición de los diversos estudios mineros.

#### 4.5) Otros posibles riesgos a la salud producidos por el radón.

El riesgo por inhalación del  $^{222}\text{Rn}$  es pequeño comparado con el riesgo por inhalación de sus productos de decaimiento; sin embargo, el principal riesgo es aun la inducción de cáncer pulmonar. Además, si el  $^{222}\text{Rn}$  es ingerido en vez de inhalado, una pequeña porción del radón o de sus productos de decaimiento se depositan en los tejidos del cuerpo, así que los efectos en la salud son insignificantes. Los productos de decaimiento del  $^{220}\text{Rn}$ , el cual tiene un producto de decaimiento de vida media larga, pueden existir no sólo en el pulmón si no también en otros tejidos del cuerpo. Cantidades significativas de los productos de decaimiento del  $^{220}\text{Rn}$  pueden absorberse y depositarse, en el hueso. Por lo tanto, existe el riesgo de otros tipos de cáncer además del cáncer pulmonar. Sin embargo, el riesgo de cáncer pulmonar originado por el  $^{220}\text{Rn}$  o el  $^{222}\text{Rn}$  es el más significativo, si la fuente de radón es el agua (ingestión e inhalación) o el gas del suelo (inhalación).

#### 4.6) Otros factores a considerar.

##### Fumar.

En general, el dejar de fumar reduce parte del total del riesgo de cáncer pulmonar. Sin embargo, la interacción entre el fumar y la exposición a los productos de decaimiento del radón no está bien definida. Existen estudios de humanos y animales que apoyan a modelos extensamente variados, incluyendo los modelos que: (1) indican que los riesgos combinados de los productos de decaimiento del radón y el fumar son menores que los riesgos atribuidos a cada carcinógeno por separado (Cr78; Lu79; Ax78; Da79); (2) indican que no existe interacción entre los dos tipos de exposición (Ch81; Ra84); o (3) indican que los riesgos combinados de los dos carcinógenos son mayores que la suma de los riesgos que se calculan por separado (llamado un modelo sinérgico) (Wh83; Lu79).

El Dr. E.A.Martell, debate que el fumar acelera los efectos de los productos de decaimiento del radón causantes del cáncer (CCENS/86). Semejantes resultados se le atribuyen a los niveles elevados del  $^{210}\text{Po}$  (un emisor  $\alpha$ ) presente en el tabaco, o a la tendencia del alquitrán del tabaco a presentarse en los pulmones de los fumadores para adelantar la deposición de los productos de decaimiento del radón en el pulmón. Sin embargo, puesto que el fumar aumenta el riesgo total de cáncer pulmonar y puesto que esto también aumenta mucho el riesgo atribuible a la exposición al radón, la EPA aconseja dejar de fumar.

#### Riesgo para los niños.

El riesgo por exposición a los productos de decaimiento del radón para los infantes y los niños comparado con el de los adultos es incierto. En general, la diferencia existe por dos razones: (1) el riesgo resultante de la exposición a una concentración dada de los productos de decaimiento en la casa varía por las diferentes edades debido a las diferencias fisiológicas y anatómicas (ejemplo: tamaño del pulmón y velocidad de respiración), y (2) la sensibilidad a la inducción de cáncer pulmonar por unidad de exposición también difiere por la edad. Hofmann y Steinhauser (St77) estimaron que las exposiciones recibidas durante la infancia son el 50% mayores que las exposiciones en edad adulta. Esto manifiesta que el área bronquial más pequeña de los niños comparada con la de los adultos compensa a sus más bajos volúmenes de respiración por minuto; por tanto, para una concentración dada de los productos de decaimiento del radón, la dosis a sus bronquios es mayor.

La pregunta de la sensibilidad del niño a la inducción de cáncer pulmonar virtualmente no se contesta por la exposición al radón, y no es bien contestada por la exposición a los rayos-x o a los rayos- $\gamma$ . Sin embargo, la evidencia desarrollada en Japón con los sobrevivientes Japoneses de la bomba atómica, indica que los niños son más susceptibles que los adultos a los cánceres inducidos por radiación. La incertidumbre de los datos parece ser que aquellos niños expuestos puedan desarrollar de 2 a 3 veces más



cáncer que aquellos adultos expuestos por el resto de su vida, o si el aumento de la susceptibilidad puede disminuir a cierta edad.

#### Tiempo consumido en casa.

En las estimaciones del riesgo dadas en "A Citizen's Guide" se asume que el 75% del tiempo de una persona se consume en casa. El pasar más o menos tiempo de exposición a niveles bajos (menos de 0.01 WL) en la casa puede aumentar o disminuir linealmente el riesgo de cáncer pulmonar, dado que la exposición interior en la casa es la fuente dominante de la exposición al radón. La EPA asume que en promedio, el residente pase el 75% de su tiempo en su casa. Esta hipótesis se tomó de tres estudios (Mo76; Da72 y Bn83). La estimación del riesgo también asume que el restante 25% del tiempo de las personas se consume virtualmente en un medio ambiente libre de radón.

#### Dormir en el sótano.

En la mayoría de los casos, el radón interior se origina en el suelo y en las rocas de abajo y alrededor de la casa, y por tanto, entra a la casa a través del piso o paredes del sótano (si existe) o a través de la losa más baja del piso. Aunque el radón es después transportado a otras partes de la casa, el decaimiento radiactivo y la ventilación de los pisos superiores tienden a originar los más altos niveles de radón en el sótano. Como resultado, los individuos que duermen una gran porción de su tiempo en el sótano (tal como cuando duermen en una recámara en el sótano) pueden enfrentar un riesgo ligeramente más alto por el radón. En algunos casos, se puede verificar si los niveles más altos desde luego están presentes en el sótano tomando mediciones de radón en múltiples sitios de la casa.

#### Período de exposición de por vida.

El riesgo individual es afectado por la exposición acumulativa y por la velocidad de exposición. La variación en la concentración de los productos de decaimiento del radón (una

persona puede ocupar un número diferente de casas durante toda su vida, cada una con una posible concentración diferente de los productos de decaimiento), la duración de la exposición, y la edad a la cual comenzó la exposición pueden todos afectar la estimación del riesgo de por vida para un individuo.

#### 4.7) Cómo reducir los riesgos del radón.

Los científicos coinciden en que el riesgo de cáncer pulmonar depende tanto del nivel de radón interior en la casa y de la cantidad de tiempo que uno se expone. Para las casas con alta velocidad de entrada de radón, se recomiendan varios pasos a corto plazo que, si se realizan inmediatamente, reducen el riesgo del radón, cabe aclarar que aunque estas técnicas pueden implementarse pronto, no son adecuadas para proporcionar una solución a largo plazo. La EPA tiene una guía que proporciona información de las técnicas de mitigación a corto y largo plazo, (EPA625/5-86-019). Idealmente, los métodos de mitigación a corto plazo deben implementarse durante el periodo de toma de decisión o cuando se esperan los resultados del muestreo. Además, las acciones a corto plazo deben implantarse tan pronto como sea posible si, después de la medición de investigación, se encuentran niveles de radón por encima de 1 WL ó 200 pCi/l. Cuando se encuentran niveles por debajo de 1 WL (200 pCi/l) y encima de 0.02 WL (4 pCi/l) deben utilizarse las técnicas a corto plazo por ser más prácticas. La urgencia para implementar las técnicas de mitigación depende del nivel de radón detectado, con niveles más altos se requiere la atención inmediata. A continuación se describen 4 técnicas a corto plazo.

##### 4.7.1) Dejar de fumar.

Aunque la interrelación entre el fumar y la exposición al radón permanece incierta, el dejar de fumar reduce inmediatamente parte del total de los riesgos de cáncer pulmonar. Los estudios médicos han sido incapaces de determinar si el fumar aumenta o

disminuye el riesgo de cáncer pulmonar por el radón. Sin embargo, la relación entre el fumar y el cáncer pulmonar está bien definida y algunos investigadores creen que hay un fuerte efecto sinérgico entre el radón y el humo del tabaco. Con base en esto, se recomienda que se deje de fumar.

#### 4.7.2) Evitar áreas habitables con altos niveles.

La investigación realizada en casas con elevada concentración de radón establece que la distribución del radón a través de la casa no es uniforme. En general, las áreas habitables más cercanas a la fuente de entrada de radón tienen más altos niveles de radón que aquellas que están más lejos. En la mayoría de las casas la principal fuente de entrada de radón es el suelo y las rocas que se encuentran debajo de la casa. Otras fuentes son el agua potable y los materiales de construcción. Puesto que el agua potable y los materiales de construcción son por lo común una fuente casi insignificante, el suelo subyacente es el principal contribuyente (Ne83). Por tanto se recomienda que se pase el menor tiempo posible en el sótano o en las habitaciones de la casa que están directamente arriba del suelo u otras áreas que han mostrado elevados niveles de radón.

#### 4.7.3) Ventilar la casa y los espacios de arrastre.

La concentración de radón interior se determina por el equilibrio entre la velocidad de entrada del radón y la velocidad de remoción, por la ventilación o el decaimiento radiactivo. La adecuada ventilación dentro de la casa reduce la concentración de radón entre 30% y 90%, dependiendo de la época del año (ASHRAE81). La reducción se debe a la remoción del aire que contiene radón y a la dilución del volumen total interior con aire que entra más puro.

La ventilación natural en una casa se origina por la diferencia de temperatura y presión entre el aire interno y el externo. Al cambiar la temperatura y los vientos estacionales son

mayores las fuerzas naturales que originan este acontecimiento. Puesto que la ventilación natural se realiza a través de todas las vías de acceso que conectan el aire interno y el externo, el aire interno puede cambiarse por aire externo incluso cuando las puertas y las ventanas están cerradas. La ventilación artificial o mecánica se basa en el uso de ventiladores que forzan un aumento en las velocidades de cambio de aire succionando el aire externo o agotando el aire interno mientras que lo reemplaza con aire más puro del exterior. En cambio, las velocidades naturales de cambio de aire se basan fuertemente en las diferencias de presión surgidas por la diferencia de temperatura y el efecto del viento. Estos factores originan pequeñas presiones a través de las paredes que separan el aire interno y el externo. Como resultado, se crea el efecto de chimenea, en el cual la presión en la base de la pared dirige el flujo de aire hacia el interior caliente y la presión en la cima de la pared dirige el flujo hacia la temperatura más fría. El efecto de chimenea origina el intercambio de aire interno por aire externo, el cual se succiona por debajo de la construcción durante la estación más calurosa (Ne85).

En la ventilación natural y en la forzada para hacer válidas las técnicas de mitigación, deben abrirse todas las ventanas de la casa para asegurar una ventilación uniforme. Por ejemplo, el abrir sólo las ventanas del lado norte origina una diferencia de presión entre el interior y el exterior. Los vientos que soplan a través de estas ventanas despresurizan la casa, originando que el aire sea empujado a presión para fluir dentro de la casa. La acción correcta es abrir todas las ventanas de la casa para permitirle a la diferencia de presión el igualarse. La misma técnica debe aplicarse a los espacios de arrastre. Deben abrirse todos los orificios laterales de los espacios de arrastre para permitir el flujo uniforme del aire.

## CAPITULO 5

### 5.1) Instrumentos de medición de radón.

Debido a que el radón no se puede detectar con los sentidos, se requiere equipo especial para medir la concentración de radón y la de sus productos de decaimiento. Existen diferentes técnicas y equipos de medición en interiores recomendadas por la EPA (EPAB6a y EPAB7a), de las cuales las más importantes son los siguientes: detector de trazas alfa, bote con carbón, unidad muestreadora integradora de los hijos del radón (RPISU), monitor continuo de radón (CRM), monitor continuo de niveles de trabajo (CWLML), muestreo de muy corto plazo (grab sampling), E-PERM (EP).

#### 5.1.1) Detectores de trazas alfa.

El detector de trazas alfa (ATD) consiste en una pequeña pieza de plástico encerrada en un contenedor con un filtro cubriendo la entrada. Las partículas  $\alpha$  emitidas por los productos de decaimiento del radón en el aire chocan con el plástico y producen trazas por daño submicroscópico. Al final del período de muestreo, los detectores son devueltos al laboratorio, donde el plástico se introduce en una solución cáustica que acentúa la traza de tal manera que pueden contarse utilizando un microscopio o 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 de radón en el aire.

Muchos factores contribuyen a la variabilidad de los resultados del ATD, incluyendo diferencias en la respuesta del detector dentro y entre los lotes, distribución no uniforme de los productos de decaimiento dentro del soporte del detector, diferencias en el número de trazas empleadas como fondo, variaciones en las condiciones de ataque y diferencias en la lectura. La variabilidad de los resultados del ATD disminuye a medida que el número de trazas netas contadas aumenta, así que contando más trazas sobre un área mayor del detector disminuirá la incertidumbre del resultado. Corriendo duplicados de ATD se

reducirá también el error. Sin embargo, si las consideraciones de costo hacen necesario realizar solo un ATD, los datos obtenidos debe ser evaluados y utilizados tomando en consideración los errores relativos asociados con el conteo del área y el número de trazas netas especificado en el proceso de laboratorio.

Las ventajas de los detectores de trazas alfa incluyen su relativamente bajo costo, su fácil manejo y su pequeño tamaño no estorboso. La desventaja principal del detector es el período relativamente largo de medición que requiere. Para los modelos normalmente accesibles, el período mínimo de exposición recomendado es de 3 meses. Además, este dispositivo de detección no siempre es preciso en la medición de bajas concentraciones de radón.

#### 5.1.2) Botes con carbón.

Como los detectores de trazas alfa, los botes con carbón son dispositivos pasivos que no requieren nada para funcionar. El carbón activado permite la adsorción y desorción continua del radón, y el radón adsorbido está sometido al proceso de decaimiento radiactivo durante el período de medición. Por tanto, la técnica no integra uniformemente las concentraciones de radón durante el período de exposición.

La técnica de medición con el bote con carbón es descrita en detalle por Cohen y George (Ge84). El bote con carbón utilizado es un contenedor circular, con un diámetro de 6 a 10 cm y aproximadamente 2.5 cm de profundidad, que se llena con 25 a 100 gr de carbón activado. Un lado del contenedor tiene adaptada una malla metálica para retener el carbón en el interior pero permite que el aire se difunda en el carbón. Cuando el bote con carbón es preparado por el proveedor, este lo sella con una cubierta. Para iniciar la medición, la cubierta se remueve para permitir que el aire se difunda en la capa de carbón. El radón del aire será adsorbido sobre el carbón y decaerá subsiguientemente; los productos de decaimiento se depositan en el carbón. Al final del período de medición, el bote es sellado nuevamente y es devuelto

al laboratorio para su análisis.

En el laboratorio, se analizan los productos de decaimiento del radón que contiene el bote, colocando el carbón, todavía en su bote, directamente en un detector gama donde se cuentan los rayos  $\gamma$  de energías entre 0.25 y 0.61 Mev. Usualmente es necesario corregir por la reducida sensibilidad del carbón por el agua adsorbida. Esto se puede hacer pesando cada bote cuando se prepara y volviendo a pesar después cuando regresa al laboratorio para su análisis. Cualquier incremento en el peso se atribuye al agua adsorbida por el carbón. El peso de agua ganado se correlaciona con un factor de corrección que se deduce empíricamente (GeB4) y es usado para corregir los resultados del análisis.

### 5.1.3) Unidad muestreadora integradora de los descendientes del radón (RPISU).

Esta unidad de muestreo continuo consiste en una bomba muestreadora de aire que hace pasar un flujo continuo de aire a través de un arreglo de detección que contiene un filtro y al menos dos dosímetros termoluminiscentes (TLDs). Uno de los TLD mide la radiación emitida por los productos de decaimiento del radón colectados sobre el filtro, y el otro TLD se utiliza para la corrección del fondo gamma. La bomba y el arreglo son por lo común operados de 3 a 7 días. Al finalizar este período, la unidad se separa y los dos dosímetros se devuelve al laboratorio. El análisis consiste en la medición de la luz emitida por el TLD durante el calentamiento.

Este dispositivo proporciona mediciones a corto plazo de la concentración de los productos de decaimiento del radón, más que de los niveles del radón. Existe una amplia experiencia en el uso de los RIPSUs, y los errores de medición están bien establecidos. Las desventajas son: su costo, la dificultad de manejo y transporte del equipo y la necesidad de personal entrenado. Mientras que el análisis es relativamente exacto, el RIPSU es sensible a las partículas en el aire y, por tanto, puede no funcionar correctamente si existen altas concentraciones de

partículas en el aire.

#### 5.1.4) Monitor continuo de radón (CRM).

El CRM muestrea el ambiente bombeando el aire a una celda de centelleo después de pasarlo a través de un filtro de partículas para remover el polvo y los productos de decaimiento del radón. Conforme el radón en el aire decae, los productos de decaimiento del radón ionizados se depositan sobre la superficie interior de la celda de centelleo. Los productos de decaimiento del radón decaen por emisiones  $\alpha$  y las partículas  $\alpha$  interaccionan con la cubierta en el interior de la celda, originando un centelleo. Los centelleos son detectados por el tubo fotomultiplicador del detector, el cual genera señales eléctricas. Las señales son procesadas y los resultados son almacenados en la memoria del CRM o impresos en papel por la impresora. El CRM debe calibrarse en un medio ambiente conocido de radón para obtener el factor de conversión que se empleará para transformar la tasa de conteo a concentración de radón. El CRM puede ser de flujo continuo o de llenado periódico. En el de flujo continuo, el aire fluye continuamente a través de la celda de centelleo. En el de llenado periódico, se llena la celda cada vez en cada intervalo de tiempo preseleccionado, se cuentan los centelleos y empieza nuevamente el ciclo.

#### 5.1.5) Monitor continuo de niveles de trabajo (CWLM).

El CWLM muestrea el aire del ambiente filtrando las partículas llevadas por el aire conforme el aire es pasado a través de un cartucho filtro, a una velocidad de flujo de 0.1 a 1 l/mín. Un detector alfa tal como el de unión difusa o detector de barrera superficial, cuenta las partículas  $\alpha$  producidas por los productos de decaimiento del radón a medida que ellos decaen sobre el filtro. El detector normalmente se ajusta para detectar las partículas  $\alpha$  con energías entre 2 y 8 Mev. Las partículas  $\alpha$  emitidas por el  $^{210}\text{Po}$  y  $^{214}\text{Po}$  son los contribuyentes más significativos a los eventos que son medidos por el detector. Los



eventos contados son directamente proporcionales al número de partículas  $\alpha$  emitidas por los productos de decaimiento del radón sobre el filtro. La unidad por lo común contiene un microprocesador que almacena el número de cuentas y el tiempo transcurrido. La unidad se programa para registrar las cuentas totales que se obtienen durante los períodos de tiempo especificados. La unidad debe calibrarse para convertir la tasa de conteo a niveles de trabajo (WL). Esto lo hace inicialmente el fabricante y debe hacerlo periódicamente el operador.

#### 5.1.6) Muestreo de muy corto plazo (grab sampling).

El término "grab sampling" se refiere al muestreo a muy corto plazo (cerca de 5 minutos). Este método consiste en valorar la concentración de radón o de sus productos de decaimiento en un pequeño volumen de aire de la casa. En este método, la muestra de aire se aspira dentro de un frasco o celda sellada que contiene una capa de fósforo de sulfuro de zinc cubriendo su superficie interior. En una parte de la celda se ajusta una ventana transparente que está en contacto con un tubo fotomultiplicador para contar los pulsos de luz (centelleos) originados por la interacción de las partículas  $\alpha$  de la muestra con el sulfuro de zinc. El número de pulsos es proporcional a la concentración de radón en la celda. La celda es contada alrededor de 4 horas después de haber sido llenada para permitir que los productos de decaimiento de vida media corta alcancen el equilibrio con el radón. Se aplican factores de corrección a los resultados para compensar el decaimiento durante el tiempo entre la colección y el conteo y durante el conteo.

Las mediciones por este método, de la concentración de los productos de decaimiento del radón en el aire, son realizadas colectando los productos de decaimiento de un volumen conocido. Varios métodos para realizar tales mediciones se han desarrollado y han sido descritos por George (Ge80b). Otros resultados comparables se han obtenido usando todos estos métodos. Sin embargo, los dos procedimientos que más se han utilizado con buenos resultados son: El procedimiento de Kusnetz y el

procedimiento modificado de Tsivoglou.

El procedimiento de Kusnetz (Ku56; ANSI73) se utiliza para obtener resultados en niveles de trabajo (WL) cuando la concentración individual de los productos de decaimiento no es importante. Los productos de decaimiento en hasta 100 litros de aire son colectados sobre un filtro en un periodo de muestreo de 5 minutos. La actividad total alfa en el filtro se cuenta en un tiempo entre 40 y 90 minutos después de que el muestreo ha concluido. El conteo se realiza utilizando un contador del tipo de centelleo para obtener el conteo alfa total para el periodo seleccionado. Las cuentas del filtro son convertidas a desintegraciones utilizando la eficiencia del detector. Las desintegraciones de los productos de decaimiento pueden convertirse a niveles de trabajo utilizando el "factor de Kusnetz" adecuado para el tiempo de conteo utilizado.

El procedimiento de Tsivoglou, modificado por Thomas (Ts53; Th72), se utiliza para determinar los WL y la concentración individual de los productos de decaimiento del radón. El muestreo es igual que en el procedimiento de Kusnetz; sin embargo, el filtro se cuenta en 3 periodos separados después que se completa el muestreo: entre 2 y 5 minutos, 6 y 20 minutos, y 21 y 30 minutos. Las cuentas resultantes se utilizan en una serie de ecuaciones para calcular las concentraciones de los tres productos de decaimiento y los WL. El costo de una medición varía de cientos a varios miles de dólares ya que debe enviarse un técnico capacitado al sitio para tomar las muestras. La ventaja de este método es que el periodo de prueba es relativamente corto, los resultados se leen inmediatamente, y las condiciones durante la medición son conocidas para el muestreador. Una desventaja, sin embargo, es el costo relativamente alto. Además, este tipo de muestreo no proporciona un promedio a largo plazo y las condiciones de la casa deben controlarse por 12 horas antes de efectuar la medición.

#### 5.1.7) E-PERM (ELECTRET PASSIVE ENVIRONMENTAL RADON MONITOR).

El E-PERM (Ko90) es un detector de tipo integrador 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 de tres a doce meses para los E-PERM de corto plazo o largo plazo respectivamente. Al finalizar el periodo de muestreo se regresan al laboratorio analítico para procesamiento y evaluación. La ventaja de este sistema es que es relativamente barato, su análisis es no destructivo y se pueden verificar los resultados, si es necesario. La desventaja es que son sensibles a la radiación gamma.

#### 5.1.8) Selección del método de muestreo.

La selección del método de medición apropiado depende de si la determinación es una medida rápida de investigación, o es una medida de seguimiento para determinar la exposición promedio. En la práctica, la elección de un sistema de medición es a menudo determinada por la disponibilidad. Si están disponibles los sistemas alternativos, el costo o la duración de la medición pueden convertirse en el factor determinante. Cada sistema tiene sus propias ventajas y desventajas y el usuario debe ejercer algún juicio en la selección del sistema más adecuado a sus necesidades.

#### 5.2) Condiciones para realizar la medición.

##### 5.2.1) Condiciones de medición estandarizadas.

Independientemente de la técnica de medición utilizada y de los procedimientos y estrategias a seguir recomendadas por la EPA (EPAB6a y EPAB7A) para cada una de ellas existen, sin embargo, lineamientos generales relacionados con la estandarización de las condiciones de medida y control de calidad que se aplican a todos los métodos. Las mediciones deben hacerse cuando las

concentraciones del radón y sus productos de decaimiento sean más estables, por ejemplo, en un edificio cerrado con un mínimo nivel de ventilación (EPAB6a). Tales mediciones generalmente serán más altas que la concentración promedio a la cual los ocupantes están expuestos.

El realizar las mediciones bajo condiciones estandarizadas es importante por dos razones. Primero, la medida debe ser reproducible; por ejemplo los resultados pueden relacionarse ya sea con la exposición potencial o real en la casa y tener la mínima variación por la técnica. Las medidas más reproducibles son aquellas tomadas cuando las condiciones de la casa están estandarizadas, con la casa cerrada, y después de que ha transcurrido el suficiente tiempo para que la concentración se estabilice. Los resultados reproducibles son especialmente importantes cuando se trata de decidir acciones correctivas o cuando se evalúa la efectividad de las medidas correctivas. Segundo, es importante estimar cuantitativamente la variabilidad asociada con los resultados de la medición. La variabilidad puede estimarse solamente de los datos tomados bajo condiciones similares y ya que las condiciones promedio de vida son difíciles de definir y reproducir, la especificación de condiciones estandar permite validar la estimación del error.

#### 5.2.2) Condiciones de la casa.

Las mediciones deben ser hechas bajo condiciones de "casa cerrada". En un límite razonable, las ventanas y puertas exteriores deben estar cerradas, permitiendo sólo la entrada y salida normal. Además, los sistemas de intercambio de aire externo - interno como los ventiladores y extractores de aire deben ser apagados. Para periodos de medición de tres días o menos, estas condiciones deben mantenerse desde 12 horas antes del comienzo de la medición (EPAB6a).

Las condiciones climáticas severas pueden afectar también los resultados de la medición. Nuevamente las medidas de menos de tres

días no deben de realizarse si se pronostican tormentas severas con fuertes vientos. Las diferencias inducidas por el viento en la presión de aire entre el interior de la casa y el exterior aumentarán la variabilidad de la concentración del radón. Cambios bruscos en la presión barométrica aumentan la probabilidad de un corrimiento en las presiones interior y exterior, lo que afecta la velocidad de flujo del radón.

### 5.3) Objetivos del control de calidad.

Otra parte importante de la medición es el control de calidad. El objetivo del control de calidad es asegurar que los datos están científicamente fundados y son de precisión y exactitud conocida. Lo siguiente son varios aspectos del control de calidad que deben incluirse en cualquier programa de medición: calibraciones controladas, medidas por duplicado, medidas blanco y verificación rutinaria de sensibilidad.

Las calibraciones controladas son muestras colectadas o medidas hechas en un ambiente conocido de radón tal como una cámara de calibración. Los detectores que requieren de la lectura externa en un laboratorio, tal como los botes con carbón, los detectores de trazas alfa y los muestreadores RPISU, deben exponerse en la cámara de calibración y después analizarse. Los instrumentos que proporcionan resultados inmediatos tales como los monitores continuos de niveles de trabajo y monitores continuos de radón, deben operarse en la cámara para establecer la calibración.

Hay dos tipos de medidas de calibración que deben hacerse a los detectores de trazas alfa y los botes con carbón. La primera medición determina y verifica los factores de conversión utilizados para derivar los resultados de concentración. Estas medidas, comúnmente llamadas muestras pico, son hechas al comienzo del programa de medición y después periódicamente. La segunda medida de calibración controla la exactitud del sistema. Estas son llamadas medidas testigo y consisten de detectores que han sido expuestos en una cámara de calibración. Ellos no son marcados como

tales cuando se envían al laboratorio para su análisis.

Las medidas blanco, deben también realizarse frecuentemente. Tales medidas deben ser hechas utilizando detectores pasivos no expuestos o deben ser mediciones conducidas en una concentración muy baja de radón (al exterior) y separadas del programa operativo. Generalmente, estas deben ser equivalentes en frecuencia a las muestras pico y no deben ser identificadas como blancos cuando sean analizadas en el laboratorio. Además de estas medidas se debe de obtener el límite inferior de detección (LLD) para el sistema de medición. Este LLD está basado en el fondo del sistema y puede restringir la capacidad de algunos sistemas para medir bajas concentraciones.

Las medidas por duplicado proporcionan una estimación de la precisión de los resultados de la medida. Las medidas por duplicado deben incluir como mínimo el 10% de las muestras. Si son hechas bastantes medidas, el número de duplicados puede reducirse, tanto como sea suficiente para determinar la precisión del método. Un programa de control de calidad debe incluir un plan escrito que satisfaga los objetivos anteriores. Debe mantenerse continuamente un sistema para monitorear los resultados de los cuatro tipos de mediciones de control de calidad, y estar disponibles para inspección.

#### 5.4) Tipo de mediciones.

Es ampliamente conocido que la concentración de radón en las casas puede variar grandemente a través del tiempo (F184; Ge83; He85; Ny83; St79; W186). Además, la concentración en diferentes sitios de la misma casa pueden diferir por un factor de 2 o más (Ge84; He85; Ke84). A causa de esta variación temporal y espacial, no se puede emplear el resultado de una sola medida para dar una estimación exacta del riesgo para la salud o tomar una decisión de la necesidad de medidas correctivas. La EPA recomienda una estrategia en dos pasos, comenzando con una medida de investigación realizada bajo condiciones de "casa cerrada" en un

área donde la concentración de radón es mayor (por lo común el sótano o a nivel del suelo) (EPAB6). Dependiendo de los resultados de las medidas de investigación, se aconseja una segunda serie de medidas de seguimiento para evaluar más completamente la concentración promedio en las áreas habitables de la casa. Se recomienda que cualquier decisión respecto a una acción correctiva permanente para reducir la concentración de radón en interiores se tome únicamente después de que se termine las medidas de seguimiento.

#### 5.4.1) Medidas de investigación.

Se recomienda que la primera medida en una casa sea una medida de investigación. Una medida de investigación determina en una forma rápida y barata si los ocupantes de una casa pueden o no estar expuestos a altas concentraciones de radón y si es necesario el realizar medidas adicionales. Otra utilidad de las medidas de investigación es cuando se inspeccionan casas múltiples para identificar tan eficientemente como sea posible, casas con altas concentraciones. Sin embargo, las medidas de investigación por sí solas no proporcionan la suficiente información para decidir sobre la necesidad de acciones correctivas.

Una medida de investigación debe proporcionar información acerca de la concentración máxima a la cual están expuestos los ocupantes, y debe también ser reproducible en las condiciones de ocupación; por lo tanto, se recomienda que la medición de investigación se realice en: (1) al área más baja de la casa que los residentes por lo común utilicen o puedan adaptar para uso como área habitable, y (2) bajo condiciones de casa cerrada. En muchas casas, el área habitable más baja puede ser el sótano que puede acondicionarse como un estudio, cuarto de juegos, o recámara sin mayores cambios estructurales. La mayor concentración de radón o de los productos de decaimiento del radón se encuentra en las áreas de la casa más cercanas al suelo subyacente. La concentración de radón debe ser más alta y más estable cuando las puertas y ventanas se abren sólo por un período breve.

Existen múltiples datos (EPAB5; Ge83; Ge84) que indican que la concentración en el sótano tiende a ser de un factor de 2 ó 3 veces mayor que las concentraciones en las habitaciones arriba de él. Por lo tanto, si el resultado de la medida de investigación es muy bajo, hay una alta probabilidad de que la concentración promedio a largo plazo en las habitaciones utilizadas como áreas habitables sean incluso más bajas, y se elimine la necesidad de realizar mediciones posteriores. Se han hecho algunas críticas acerca de que este procedimiento puede originar un número importante de medidas erróneas de altos niveles, lo cual puede ser cierto; sin embargo, la EPA cree que un resultado falso positivo es menos grave porque origina mediciones adicionales, las cuales pueden revelar que la concentración en la casa es baja y se disminuya el número de falsos negativos. El resultado de un falso negativo haría que no se realice ninguna medida posterior y posiblemente nunca pueda identificarse una concentración alta. Por lo tanto, la EPA cree que una proporción significativa de falsos positivos es preferible a una alta proporción de falsos negativos.

Otra recomendación es que todas las mediciones a corto plazo (mediciones de menos de 3 meses de duración) se realicen durante los períodos del año en el cual las ventanas se mantienen por lo común cerradas (para la mayoría de los países en invierno). El objetivo es asegurar que la medición a corto plazo sea hecha durante el tiempo en el cual la concentración es la más alta y la más estable. Las condiciones de la medición deben ser las de "casa cerrada".

#### 5.4.2) Medidas de seguimiento.

Estas medidas intentan proporcionar una estimación promedio anual de las concentraciones de radón en las áreas habitables. La necesidad de estas medidas depende de los resultados de las medidas de investigación.

a) Si los resultados de las medidas de investigación son



menores de 4 pCi/l ó 0.02 WL, no se requerirán medidas de seguimiento, ya que si las medidas de investigación se realizaron en el área habitable más baja de la casa (sótano o planta baja) y bajo condiciones de "casa cerrada", hay muy poca probabilidad de que la concentración en las áreas habitables o pisos altos sea mayor de 4 pCi/l ó 0.02 WL como un promedio anual.

b) Si los resultados de las medidas de investigación son menores de 20 pCi/l ó 0.1 WL, pero mayores que 4 pCi/l ó 0.02 WL, se recomienda que las medidas de seguimiento se hagan durante un período de 12 meses y en varias habitaciones de la casa; es decir se hacen 4 medidas por un período de 24 horas y cada 3 meses en condiciones normales de habitación. Las medidas de seguimiento por un período de un año se recomiendan para calcular la exposición puesto que los resultados incorporan las variaciones en la concentración debido a las estaciones del año y las diferencias en el estilo de vida.

c) Si los resultados de las medidas de investigación son mayores de 20 pCi/l ó 0.1 WL, se recomienda que se lleven a cabo medidas de seguimiento a corto plazo (de 24 horas) en varias áreas habitables de la casa y bajo condiciones de "casa cerrada" ya que un año adicional de exposición a estas concentraciones causaría un aumento significativo del riesgo a la salud. Estas medidas de seguimiento a corto plazo proporcionan resultados reproducibles que dan una estimación conservadora de la concentración promedio anual. Mientras más alto sea el resultado de la medidas de investigación, más corta deberá ser la duración de las medidas de seguimiento.

En general cualquiera que sea la situación las medidas de seguimiento deben hacerse en las áreas de la casa que se utilicen como áreas habitables y siempre que sea posible, en por lo menos dos pisos de la misma casa, comunmente en la recámara y en la sala (Ch74; Mo76; Sz72). Los resultados en las diferentes áreas deben promediarse y el resultado promedio compararse con los niveles guía o normativos para estimar el riesgo para la salud y decidir sobre la necesidad de acciones correctivas.

## CAPÍTULO 6

### PARTE EXPERIMENTAL.

#### 6.1) Selección del método de muestreo.

De los siete métodos de medición, ya sea del radón o de sus productos de decaimiento el que se utilizará en este trabajo es el monitor continuo de los productos de decaimiento del radón en niveles de trabajo (CWLM).

Este método presenta las siguientes ventajas:

- a) Tiempos cortos de medición.
- b) Resultados por hora, que permiten observar las variaciones de concentración en la casa.
- c) Muy preciso
- d) Resultados accesibles en el sitio.

#### 6.2) Selección del sitio de muestreo.

De las 16 delegaciones del Distrito Federal para este trabajo se seleccionó la delegación Alvaro Obregón que tiene las siguientes características (SGDS86; INEGI89; IG85; Ca84; DDF76):

##### 6.2.1) Características Geográficas.

Localizada en el occidente del Distrito Federal, la delegación Alvaro Obregón colinda, en su parte norte, con la delegación Miguel Hidalgo. Por el oriente, limita con las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán, en tanto que por el occidente y el sur lo hace con Cuajimalpa de Morelos y Magdalena Contreras, respectivamente. Su territorio, que en general se

caracteriza por una topografía muy accidentada, se desarrolla entre 2260 y 2350 m sobre el nivel del mar, en dirección a las tierras altas de la Sierra de las Cruces y abarcando una superficie de 96.17 km<sup>2</sup>, que representa el 6.5% del total del territorio ocupado por el D.F., lo que la sitúa en el quinto lugar en relación al resto de las delegaciones.

De la superficie con que cuenta, el 64.41% son ocupados por el área urbana y 31.76% corresponden al área rural. La forman 3633 manzanas repartidas en 171 áreas geostadísticas básicas (AGED); de estas, 170 son de características urbanas y solo 1 es rural. Las AGEB urbanas se concentran hacia el sector nororiental de la delegación; la AGEB rural se encuentra al suroeste de la delegación.

#### U.2.2) Características de Relieve.

En el área de la delegación predomina el relieve montañoso, la máxima altitud de 3800 m se tiene en el cerro del Triángulo, ubicado en el extremo meridional del territorio y disminuye hacia el noreste hasta alcanzar 2260 m en los alrededores de Parque Lira. Entre las elevaciones más notables de esta región se tienen los cerros: San Miguel, Cruz de Calica y la Coconetla, con 3790, 3600 y 3360 m de altitud, respectivamente. La mayor parte de las corrientes superficiales, que en este terreno han labrado numerosos y profundos barrancos, son de carácter intermitente y se integran a los ríos de la Piedad, Mixcoac, Tacubaya y Becorra, todos entubados en la actualidad.

La mayor parte del territorio presenta una topografía sumamente accidentada, característica de la región boscosa que se extiende en la zona sudoeste del D.F. En la parte sudeste de la delegación existe, sin embargo, un sector de tierras bajas y relativamente planas que ha permitido el desarrollo de asentamientos humanos importantes y que, de hecho, constituye el ámbito en el que se ha dado con mayor intensidad el proceso de urbanización.

### 6.2.3) Características Climáticas.

Por lo que hace al clima, es posible dividir la delegación en dos secciones aproximadamente iguales, una al oriente y otra al poniente. La sección oriental se encuentra dentro de la zona subhúmeda de la cuenca de México, con una precipitación pluvial oscilante entre 800 y 1000 mm anuales, y una temperatura media anual que varía de 14°C a poco menos de 17°C y es en la porción noreste donde se presentan las temperaturas medias más elevadas. Los meses que registran mayor temperatura son de Abril a Junio. La sección occidental, más elevada que la anterior, se ubica dentro de la zona húmeda de la cuenca y en ella la precipitación pluvial supera los 1100 mm anuales, en tanto que la temperatura media resulta inferior a 15°C. Es esta, precisamente, la sección de tierras altas y frías que, al ocupar un poco más de la mitad del territorio de la delegación, le confiere su particular carácter forestal. La zona con más humedad se ubica al suroeste de la delegación; en tanto que la más seca se localiza al noreste. Los meses con lluvia más abundante son Julio y Agosto.

### 6.2.4) Contaminación.

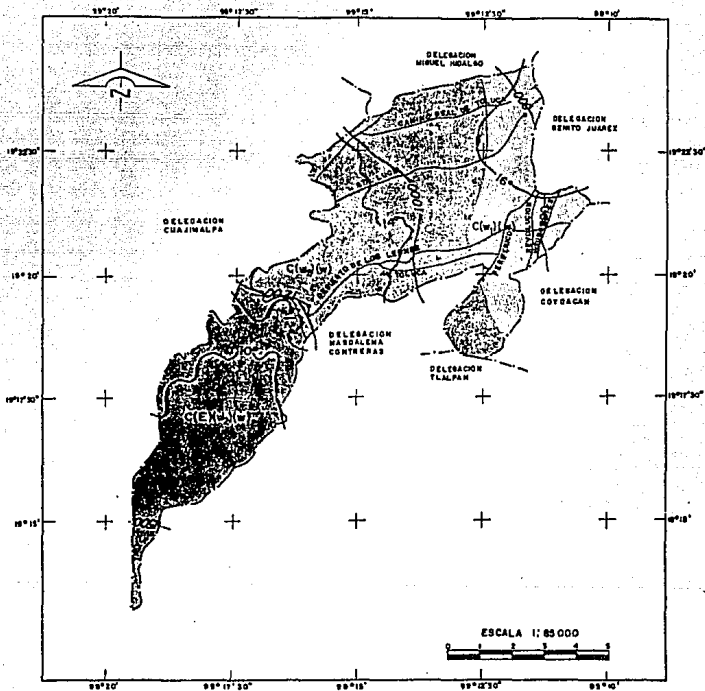
El contaminante principal es el ozono, salvo en ocasiones en que predomina el dióxido de azufre. El corredor de contaminación del aire lo forman la zona industrial de Mixcoac, Tacubaya y los humos de fuentes móviles sobre las avenidas: Revolución, Patriotismo, Insurgentes y Anillo Periférico, principalmente. También existe un alto grado de contaminación por desechos sólidos y tiraderos de basura a cielo abierto.

## 6.2.5) Estructura Urbana.

En terminos del patrón de asentamiento de la población y de la estructura física que lo sustenta, es posible distinguir dentro de la delegación 3 zonas principales. La primera se caracteriza por un uso del suelo casi exclusivamente habitacional y comercial, y se localiza en el ya mencionado sector de tierras bajas y relativamente planas del sudeste (San José Insurgentes, La Florida Guadalupe Inn, San Angel, Barrio de Loreto, Unidad habitacional Lomas de Plateros y Torres de Mixcoac).

La segunda zona distinguible se desarrolla en parte de la periferia sur, en toda la periferia norte y noreste, así como en el centro del territorio delegacional. Ocupa tierras altas y escarpadas que, particularmente en el norte, estaban anteriormente dedicadas a la extracción y producción de arena y otros materiales de construcción, ya que presentan un subsuelo arenoso (roca sedimentaria) plagado de cavernas que hace muy difícil el desarrollo de asentamientos humanos (Lomas de Becerra, Alfonso XIII, Molino de Rosas y Olivar del Conde).

Finalmente, la tercera zona de poblamiento comprende los pueblos ubicados en las tierras altas del norte y occidente (San Bartolo Ameyalco y Santa Rosa Xochiac). En cuanto al uso del suelo en estas zonas, predomina ampliamente el habitacional, que abarca 78% del área urbanizada, seguido por el industrial, que ocupa el 15% de la misma y el comercial con el 7%.



### CLIMAS

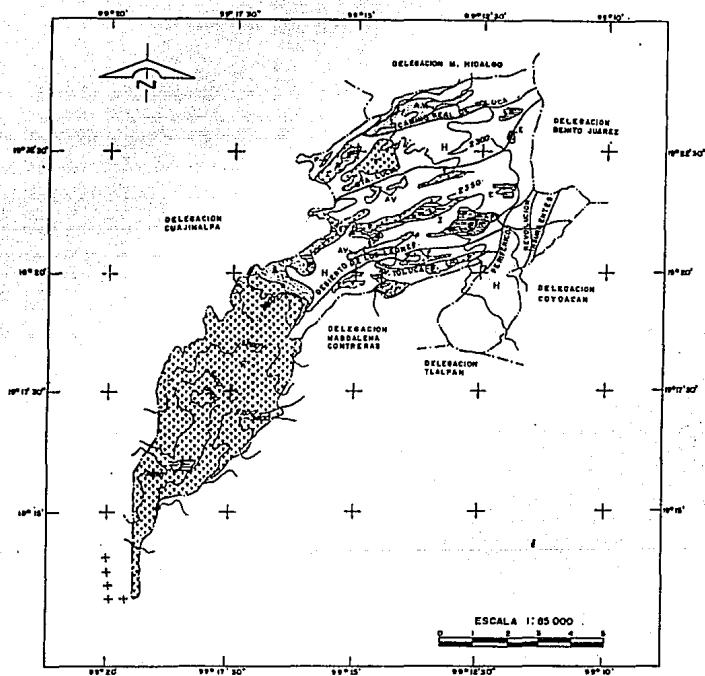
C(w)(w) Templado Subhúmedo Intermedio	
C(w)(w) Templado Subhúmedo húmedo	
C(E)(w)(w) Semitropical húmedo húmedo	
Precipitación Total Anual (mm)	—000—
Temperatura Media Anual (°C)	—00°—
Límite Estatal	+++
Límite Delegacional	===
Vías de Comunicación	====

### DELEGACION ALVARO OBREGON

NOTA: Con lluvias en verano e invierno. Lluvias en invierno menores del 5%.

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, DGG, Atlas de Medio Físico.

FIG.7 CARACTERISTICAS CLIMATICAS. DELEGACION ALVARO OBREGON.



USO DEL SUELO DELEGACION ALVARO OBREGON

HABITACIONAL		LIMITE ESTATAL	++
EQUIPAMIENTO (SERVICIOS PUBLICOS O PRIVADOS)		LIMITE DELEGACIONAL	---
INDUSTRIAL		VIAS DE COMUNICACION	---
AGRICULTURA		LIMITE DE USO DEL SUELO	---
PASTIZAL		CURVA DE NIVEL ACOTADA	
BOSQUE Y MATORRAL			
AREA VERDE			

NOTA: Datos obtenidos mediante identificación fotográfica y cartográfica.

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, DGG, Atlas Cd de México, D.D.F.-COLMEX.

FIG.8 USO DEL SUELO, DELEGACION ALVARO OBREGON.

**TABLA 6. CONDICIONES CLIMATOLOGICAS EN LA DEL. ALVARO OBREGON**

LOS DATOS SON MEDIAS MENSUALES O ANUALES SEGUN EL CASO.

MES	HUMEDAD RELATIVA %	TEMPERATURA °C	PRECIPITACION mm
ENERO	54	12.6	12.85
FEBRERO	49	14.4	3.97
MARZO	44	16.6	8.98
ABRIL	45	17.6	29.61
MAYO	51	17.8	61.27
JUNIO	62	17.3	140.66
JULIO	68	16.1	196.24
AGOSTO	72	16.2	196.43
SEPTIEMBRE	72	15.7	156.01
OCTUBRE	67	15.0	60.72
NOVIEMBRE	62	13.9	10.95
DICIEMBRE	57	12.7	7.25
ANUAL	59	15.4	884.94

ESTACION : MEXICO, D.F (TACUBAYA) 19°24'18" N 99°11'40" W ALTITUD 2308 m

CLIMA : SUBHUMEDO

PRECIPITACION MEDIA ANUAL : 800 A 1000 mm

TEMPERATURA MEDIA ANUAL : 14°C A 17°C

TEMPERATURA MINIMA MEDIA ANUAL : 2°C

TEMPERATURA MAXIMA MEDIA ANUAL : 26°C

SUBSUELO : DEPOSITOS SOLIDOS DE ARENA FINA Y UNIFORME

LITOLOGIA : MATERIAL DE TOBAS, ARENAS, GRAVAS, BRECHAS Y BLOQUES PUMITICOS DISPUESTOS EN FORMA HETEROGENEA

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS : AREA DE BARRANCAS Y LOMAS SUAVIZADAS QUE SE HAN ORIGINADO POR ACCIONES HIDRODINAMICAS INTENSAS

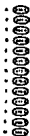
TIPO DE FORMACIONES SUPERFICIALES : MATERIALES ANGULARES O REDONDEADOS, DE CALIBRES HETEROGENEOS

COMPORTAMIENTO HIDROLOGICO : AREA DE PERMEABILIDAD MODERADA QUE FACILITA LA ESCORRENTIA Y EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL





DELEGACION CUAJIMALPA  
DE MORELOS



DELEGACION MIGUEL HIDALGO,

DELEGACION BENITO JUAREZ

DELEGACION COYOACAN

DELEGACION MAGDALENA  
CONTRERAS

DELEGACION TLALPAN

DELEGACION ENTIDAD ALVARO OBREGON  
DISTRITO FEDERAL

CLAVE  
010  
09

NOTA: El marco geoestadístico corresponde a la división geográfica que para fines de levantamiento de información estadística se hace del D.F., ésta no corresponde necesariamente a la división político-administrativa del mismo.

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Dirección Regional en el D.F.

FIG.9 ZONA MONITOREADA DE LA DELEGACION ALVARO OBREGON,

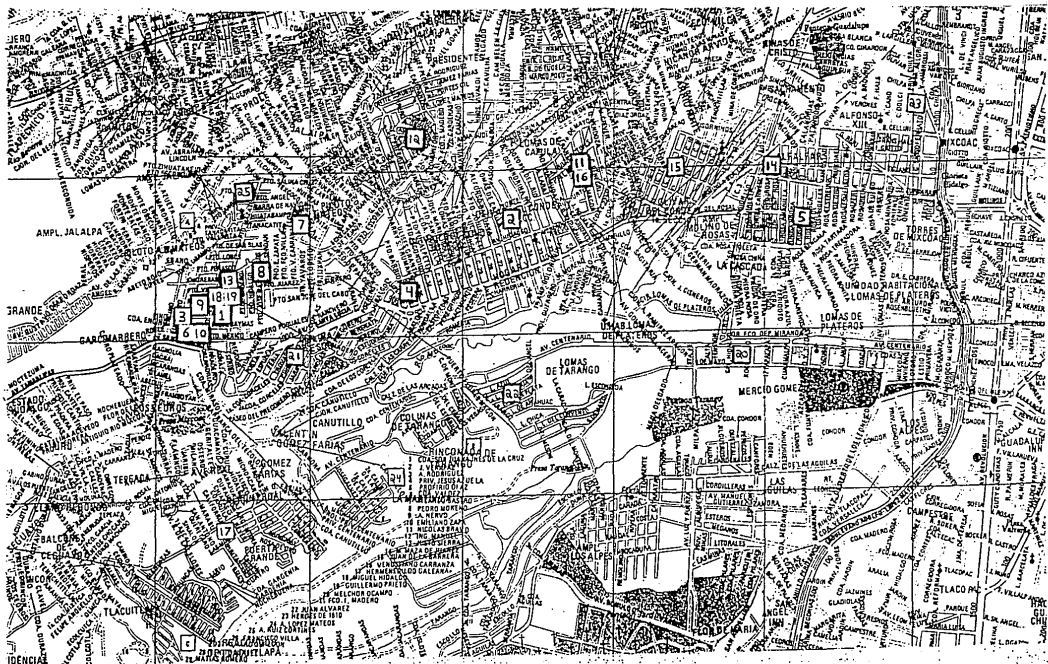


FIG.10 CASAS DONDE SE EFECTUO EL MUESTREO.

### 6.3) Descripción general y manual de operación del sistema de monitoreo.

El sistema de monitoreo continuo de niveles de trabajo está compuesto de 3 partes:

- 1.-Una o más unidades muestreadoras (Modelo WLM-1A).
- 2.-Una unidad lectora (Modelo WLR-1A).
- 3.-Cargador de batería BC-WLM.

1.-La unidad muestreadora (WLM-1A) es un pequeño microcomputador CMOS operado por batería que continuamente aspira aire del medio ambiente (flujo de 0.12 a 0.18 l/min) a través de un papel filtro y mide las partículas  $\alpha$  de la materia atrapada en el filtro (hijos del radón y/o torón) por medio de un detector de silicio. Las cuentas  $\alpha$  son registradas y almacenadas para los intervalos preprogramados y después transferidos a la unidad lectora en orden, junto con los parámetros utilizados para la toma de los datos. La microcomputadora también controla el flujo de la bomba y registra el decaimiento, después de que la bomba ha sido apagada. Esta unidad muestreadora viene en una pequeña maleta de aluminio, es ligera y de fácil manejo. Se puede recargar con la WLR-1A o bien con el cargador de batería BC-WLM.

2.-La unidad lectora proporciona la interfase humana a la unidad muestreadora y realiza todos los cálculos y la impresión de los datos. Los parámetros para tomar datos, tal como constante de calibración y el tiempo de muestreo, son programados a la unidad muestreadora vía el keypad (teclado numérico) de la unidad lectora. La interfase visual la proporciona una pantalla alfanumérica. Los parámetros y los datos pueden imprimirse selectivamente.

#### 6.3.1) Precisión de la medición.

La WLM-1A está diseñada para periodos de muestreo de no menos de un día y preferentemente una semana. Cuando se utiliza por un periodo menor a 1 día, sin la integración total del extremo de

decaimiento después de que el muestreo ha concluido, se debe poner atención para corregir la integración incompleta del extremo. La precisión de la medición está limitada por:

- 1.- El tiempo de muestreo.
- 2.- El desequilibrio del aire muestreado.
- 3.- La calibración de la velocidad de flujo del aire.
- 4.- La calibración de la eficiencia de conteo.

Este modo de conteo  $\alpha$  integrado es utilizado por EBERLINE desde 1977 y su validez ha sido confirmada. Durkin (Du81) concluyó que el % de error introducido por este método fluctúa de -2.45% a +2.7% para el 92% de los casos. El máximo error introducido bajo casos extremos de desequilibrio es del 5%. Por tanto, el error inherente es mucho más pequeño que el asociado a otros métodos. La medición por un tiempo corto (por cualquier método) no refleja la variación de noche a día o de día a día de los niveles de trabajo (WL). Este modo de conteo  $\alpha$  integrado es más sensible y más preciso que cualquier otro método. El límite inferior de detección establecido por el proveedor es de  $2 \cdot 10^{-5}$  WL y el límite superior es de  $10^2$  WL.

### 6.3.2) Operación del sistema.

#### 6.3.2.1) Descripción de la operación del teclado.

La WLM-1A debe conectarse a la WLR-1A para la selección de los parámetros y la recuperación de los datos.

NOTA: No debe dejarse cerca al tablero el cable de energía de C.A de la WLR-1A, porque puede inducir ruido eléctrico en el circuito de la WLM-1A. Esto debe vigilarse si se ha quitado la cubierta de la WLM-1A.

La interface máquina/operador es un menú que se ejecuta para operar el sistema. El mensaje de la opción se despliega en la pantalla LCD. El operador de selección, es por lo común un Si(+), o un No(-), avanza el programa a la siguiente opción o función (Fig.11 y Fig.12).

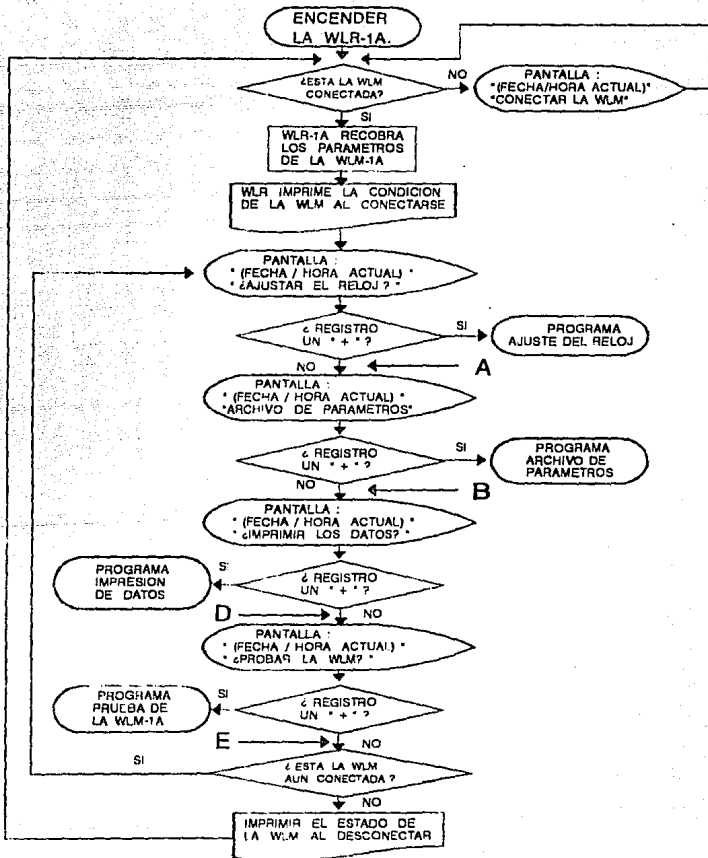


FIG.11 DIAGRAMA DE FLUJO DEL MENU PRINCIPAL

## EJEMPLO MENU PRINCIPAL

TECLA  
PRESIONADA

PANTALLA

VER EJEMPLO  
PARA MAS  
DETALLE  
DE CADA  
RUTINA.

-

AGO.2,90 1144  
¿AJUSTAR EL RELOJ?

EJEMPLO 1

-

AGO.2,90 1300  
¿ARCHIVO DE PARAMETROS?

EJEMPLO 2

-

AGO.2,90 1300  
¿IMPRIMIR DATOS OBTENIDOS?

EJEMPLO 3

-

AGO.2,90 1300  
¿PROBAR WLM?

EJEMPLO 4

AGO.2,90 1300  
¿AJUSTAR EL RELOJ?

FIG.12 EJEMPLO DEL MENU PRINCIPAL

El keypad (teclado numérico) de 4 x 4 teclas contiene los números del 0 al 9 y el punto decimal (para ingreso de datos), el "+" y el "-" para entrada de datos, la función espacial "RUBOUT" para corregir la entrada, "EDIT" para modificar los valores de los parámetros y "ENTER" para concluir la entrada de datos. Los datos que se introducen se despliegan en la pantalla conforme se van introduciendo. La entrada de datos en el archivo de parámetros se realiza a través de una secuencia de teclas de "EDIT", "(VALUE)" y "ENTER". El ingreso numérico de la constante de calibración se puede efectuar de varias maneras. Por ejemplo: 500 se puede introducir como "500" ó "+5.00+02". Para ajustar el reloj o corregir los valores enteros, la notación debe de ser de características definidas.

Por ejemplo: 8:00 A.M se introduce como 0800.

El mes de Junio se introduce como 6 ó 06.

Todas las opciones del menú que son preguntas se contestan con "+" para SI y "-" para NO. En la rutina del archivo de parámetros, el "+" y "-" son caracteres que permiten continuar a través de los parámetros, "+" para el siguiente renglón y "-" para el renglón previo.

#### 6.3.2.2) Programa para el reloj.

La WLR-1A contiene un reloj de tiempo real que está interfazado al microcomputador; su memoria no es volátil y una vez ajustado, mantiene la hora y la fecha. Este reloj proporciona la hora correspondiente a todos los datos y es impresa junto con cada dato asociado. El reloj se ajusta cuando la pregunta "SET THE CLOCK?" es contestada con un SI "+" (Fig.13 y Fig.14).

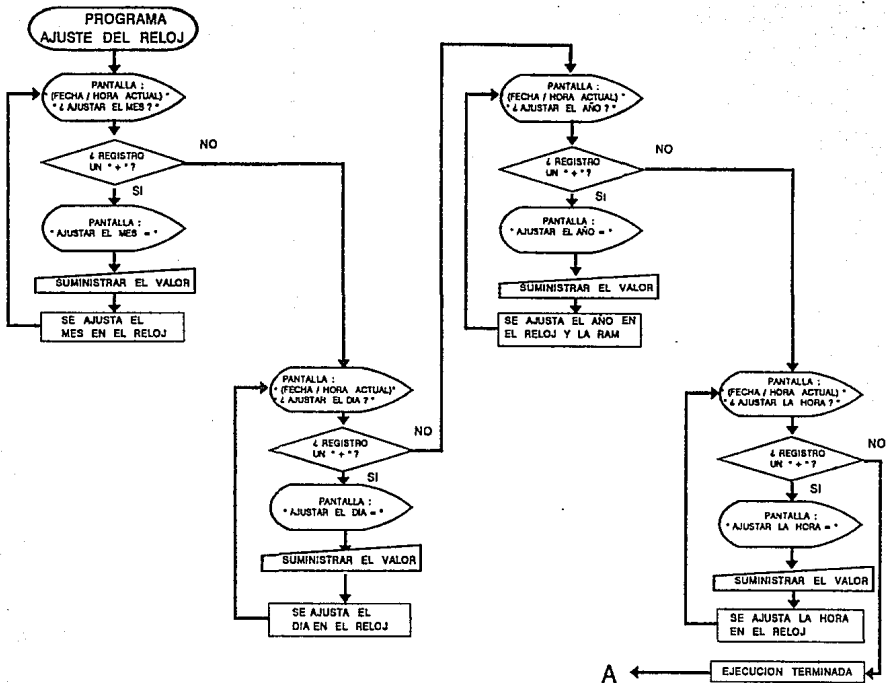


FIG.13 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA AJUSTAR EL RELOJ.



TECLA PRESIONADA

EJEMPLO 1  
PANTALLA

COMENTARIOS

+  
+  
0 7  
ENTER  
-  
+  
2 3  
ENTER  
-  
+  
9 2  
ENTER  
-  
+  
1 3 0 0  
ENTER  
-

AGO.2.80 1144  
AJUSTAR EL RELOJ?

AGO.2.80 1144  
AJUSTAR EL MES?

AGO.2.80 1144  
AJUSTAR EL MES =

AGO.2.80 1144  
AJUSTAR EL MES = 07

JUL.2.80 1144  
AJUSTAR EL MES?

JUL.2.80 1144  
AJUSTAR EL DIA?

JUL.2.80 1144  
AJUSTAR EL DIA =

JUL.2.80 1144  
AJUSTAR EL DIA = 23

JUL.23.80 1144  
AJUSTAR EL DIA?

JUL.23.80 1144  
AJUSTAR EL AÑO?

JUL.23.80 1144  
AJUSTAR EL AÑO =

JUL.23.80 1144  
AJUSTAR EL AÑO = 82

JUL.23.82 1144  
AJUSTAR EL AÑO?

JUL.23.82 1144  
AJUSTAR LA HORAS?

JUL.23.82 1144  
AJUSTAR LA HORA =

JUL.23.82 1144  
AJUSTAR LA HORA = 1300

JUL.23.82 1300  
AJUSTAR LA HORAS?

JUL.23.82 1300  
ARCHIVO DE PARAMETROS?

RUTINA DEL MENU  
PRINCIPAL

RUTINA DEL MENU  
PRINCIPAL

FIG.14 EJEMPLO DE COMO AJUSTAR EL RELOJ.

### G.3.2.3) Programa de parámetros.

La WLM-1A almacena (recuerda) los parámetros de muestreo y la constante de calibración en la memoria de acceso aleatorio no volátil (RAM). Estos parámetros son operadores introducidos vía la unidad lectora WLR-1A. Estos parámetros pueden observarse en la pantalla LCD cuando la pregunta "PARAMETER FILE?" se contesta con un SI "+".

El archivo de parámetros se revisa listándolo a través de 8 entradas con la tecla "+" y "-". La tecla "+" selecciona el siguiente parámetro, la tecla "-" selecciona el parámetro previo. Como la WLR-1A utiliza los parámetros de la WLM-1A para los cálculos de los datos, los parámetros no deben modificarse hasta que los datos del muestreo anterior se extraigan de la WLM-1A. Si los datos no se han leído completamente mientras la WLM-1A está conectada, la WLR-1A despliega "ENABLE EDIT?"; si se suministra un NO "-", los parámetros se muestran y no pueden modificarse. Un SI "+", invalida la especificación y permite corregir los parámetros. El archivo de parámetros se imprime y carga automáticamente a la WLM-1A si se corrigió algún parámetro. Si el archivo no se corrigió el operador puede obtener una impresión respondiendo SI "+" a la pregunta "PRINT PARAMS?".

Descripción de cada parámetro. También se incluye el valor inicial. El valor inicial en el programa se inserta al oprimir el pulsador RST o al encender la unidad.

**WLM NUMBER:** Número del monitor de nivel de trabajo.

Es un número de identificación, de 000 a 65535. El valor inicial es 000.

**LOCATION CODE:** Código de localización.

Es un número de identificación de 000 a 65535. El valor inicial es 000.

**SAMP. INTV. (MIN):** Intervalo de muestreo.

Es el tiempo (minutos) para la toma de cada punto durante el

período de muestreo. El mínimo es 1 minuto, el máximo 60 minutos. El valor inicial es 60 minutos (1 hora). EBERLINE recomienda que para el muestreo de investigación a corto plazo, el intervalo de muestreo sea de 10 minutos.

**SAMPLE QUANTITY:** Cantidad de muestras.

Es el número de puntos deseados para el período de muestreo. El mínimo es 1.0, el máximo es 200. El valor inicial es 168.

**NOTA:** El intervalo de muestreo multiplicado por la cantidad de muestras da el período de muestreo, por lo tanto:  
 $60 \text{ min} \times 168 = 10080 \text{ minutos} = 1 \text{ semana.}$

**TAIL. INTV. (MIN):** Intervalo del extremo.

Es el tiempo (minutos) para la toma de cada punto durante el decaimiento de la actividad en el filtro. La bomba se apaga durante este período. El tiempo mínimo es 1.0 minuto, el máximo es 60 minutos. El valor inicial es 60 minutos.

**TAIL QUANTITY:** Cantidad de puntos en el extremo.

Es el número de puntos deseados para los cálculos considerando el extremo. El mínimo es 0, el máximo es 50 durante un período total de 4 horas. El microcomputador automáticamente corrige por el extremo al calcular el WL promedio para el intervalo total de muestreo no obstante que el intervalo del extremo y la cantidad de puntos en el extremo se especifiquen. El valor inicial es 4.

**NOTA:** El intervalo del extremo y la cantidad de puntos en el extremo son aceptados automáticamente. El dejar el valor de la cantidad de puntos en el valor inicial de 4, proporciona 4 puntos en el extremo con un tiempo de duración determinado por el intervalo del extremo ya mencionado.

Cualquier WL promedio calculado antes de que el cálculo del extremo de 4 horas sea terminado se identifica como "PARTIAL" para indicar que el cálculo del extremo no se ha factorizado en el promedio calculado.

**START TIME:** Tiempo de inicio.

Es la fecha y la hora que el operador desea para iniciar el período de muestreo. La fecha / hora de inicio más temprana admisible está limitada por el tiempo que se requiere para la estabilización del voltaje y el conteo de fondo (tiempo actual + intervalo de muestreo + 1). La fecha/hora más prolongada que se admite está limitada a 4 días, para conservar la batería. El tiempo máximo de operación de la batería es de 1 semana de operación en muestreo más 4 días para recuperación de datos.

Si el tiempo de inicio que se introduce está fuera de los límites, el programa corrige la entrada a un tiempo admisible más temprano y despliega "ERROR - START TIME TOO SHORT?". Si la corrección se realiza cuando el archivo se carga a la WLM-1A, se imprime un mensaje preventivo "CHECK START TIME". Para iniciar un muestreo a media noche, introducir la fecha del siguiente día y la hora en 0000. El tiempo inicial es ENERO,01,XX.0100 h (XX=año almacenado en la memoria de la WLR-1A).

**CALIB CONSTANT:** Constante de calibración.

La constante de calibración está en unidades de cuentas por minuto por niveles de trabajo (cpm/WL) si el valor es mayor de 1.0. Si el valor es 1.0, la unidad para los datos es la de cuentas por minuto (cpm). La unidad de cpm se utiliza para calcular la eficiencia del detector.

Para la WLM-1A versión 1.0 y el software más reciente, se puede seleccionar la unidad de Becquerel por m<sup>3</sup> en Equilibrio Equivalente al Radón (Bq/m<sup>3</sup> EER) cuando se suministra una constante de calibración de más de 1.0. La WLR-1A aplica una constante ( $3.70 \times 10^3$  WL/(Bq/m<sup>3</sup> EER)) para convertir WL a Bq/m<sup>3</sup> EER cuando se selecciona esta unidad. La constante de calibración al inicio es 1.0 pero puede corregirse por entrada directa del valor o haciendo que la WLR-1A la calcule, utilizando los datos que le suministra el operador. La constante de calibración es determinada por el proveedor y está indicada en una etiqueta ubicada en el tablero dentro de la WLM-1A. La rutina de cálculo se inicia cuando

un NO "-" se responde a la pregunta "KNOW CAL FACTOR?". El cálculo es el siguiente:

$$\text{Const. de calibración} = \frac{\text{Velocidad de flujo (l/min)} \times \text{Eficiencia}}{5.0 \times 10^{-5}}$$

Si la eficiencia se conoce se introduce directamente contestando SI "+" a la pregunta "KNOW EFFICIENCY?; RUBOUT to ABORT". El contestar NO "-", permite el cálculo de la eficiencia. El programa es un menú que requiere de los siguientes datos si la eficiencia no se conoce:

- 1.-Velocidad de conteo (cpm) obtenidas con la fuente de calibración.
- 2.-Desintegraciones por minuto (dpm) de la fuente de calibración (no la velocidad de emisión alfa 2  $\pi$ ).
- 3.-Velocidad de flujo (l/min) de la bomba de la WLM-1A.

La fórmula que se utiliza para el cálculo de la eficiencia es:

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

Cada valor calculado fuerza a una doble verificación del mismo: si no es satisfactorio para el operador, el programa puede recalcularlo. Si es satisfactorio se responde SI "+" a la pregunta "OK?" (Fig.15, Fig.16 y Fig.17).

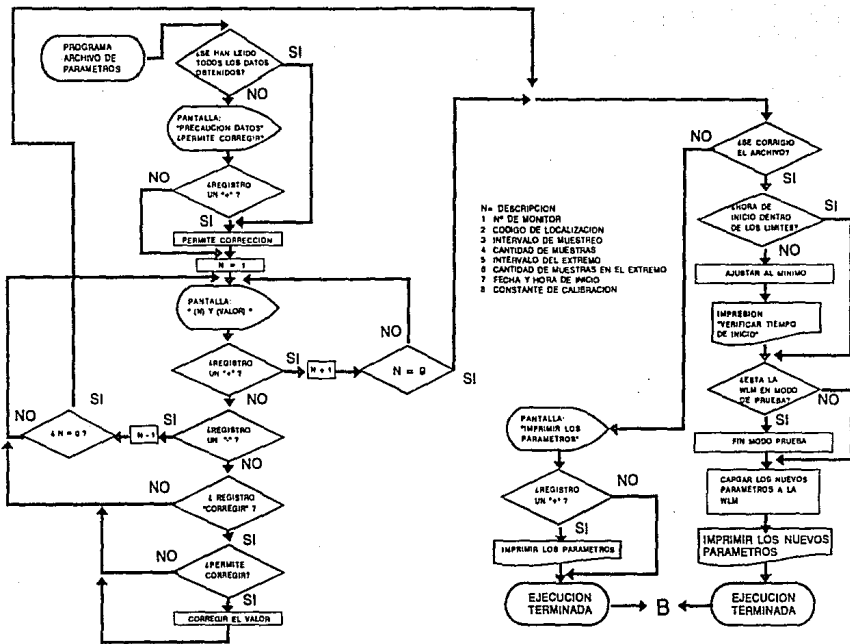


FIG.15 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA ARCHIVAR LOS PARAMETROS.

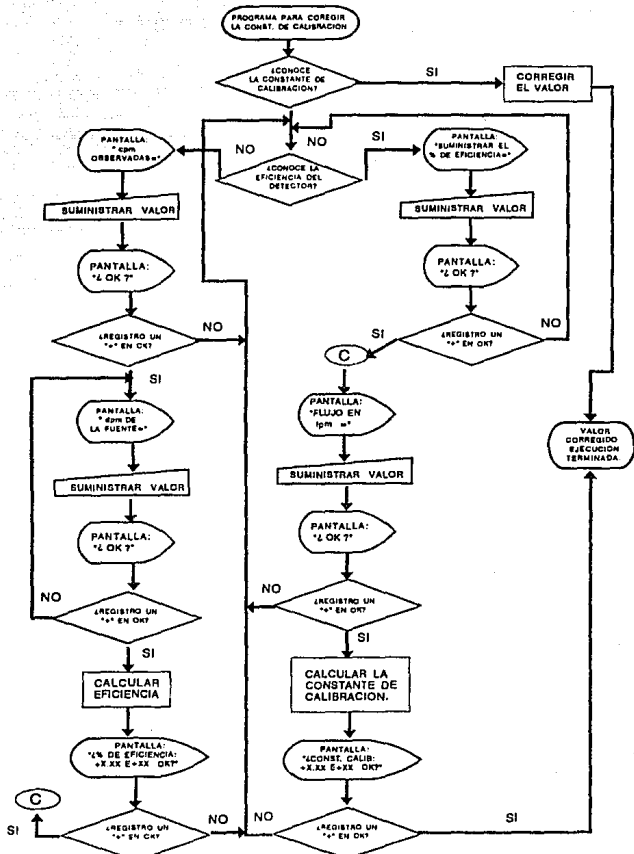


FIG.16 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA CORREGIR LA CONSTANTE DE CALIBRACION

## EJEMPLO 2

TECLA PRESIONADA	PANTALLA	COMENTARIOS
	OCT 23 92 1537 ARCHIVO DE PARAMETROS?	RUTINA DEL MENU PRINCIPAL
+	¡PRECAUCION DATOS! ¿PERMITE CORREGIR?	VER NOTA 1
+	WLM NUMERO : 000	
EDIT 0 1 ENTER	WLM NUMERO : 001	
+	CODIGO DE LOCALIZACION: 000	
EDIT 0 3 1 ENTER	CODIGO DE LOCALIZACION: 031	
+	INTV. DE MUESTREO (MIN): 060	
EDIT 6 0 ENTER	INTV. DE MUESTREO (MIN): 060	
+	CANTIDAD DE MUESTRAS : 108	
EDIT 4 8 ENTER	CANTIDAD DE MUESTRAS : 048	
+	INTV. DEL EXTREMO (MIN): 060	
EDIT 3 0 ENTER	INTV. DEL EXTREMO (MIN): 030	
+	CANTIDAD EN EL EXTREMO : 004	

CONTINUA EN LA SIGUIENTE  
PAGINA

FIG.17 EJEMPLO DE COMO ARCHIVAR LOS PARAMETROS.



## EJEMPLO 2

TECLA PRESIONADA	PANTALLA	COMENTARIOS
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">EDIT</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">8</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">ENTER</div> </div>	CANTIDAD EN EL EXTREMO 008	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">+</div>	FECHA DE INICIO: ENE.1,90 0100	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">EDIT</div>	SUMINISTRAR EL MES:	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">ENTER</div> </div>	SUMINISTRAR EL DIA :	VER NOTA 2
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">4</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">ENTER</div> </div>	SUMINISTRAR LA HORA	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">ENTER</div> </div>	SUMINISTRAR LOS MINUTOS :	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">ENTER</div> </div>	FECHA DE INICIO : OCT 24,92 0000	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">+</div>	CONSTANTE DE CALIBRACION : + 1 00 E + 00	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">EDIT</div>	¿CONOCE EL FACTOR DE CALIB?	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">-</div>	VER "A"	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">8</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">ENTER</div> </div>	CONSTANTE DE CALIBRACION: + 8.18 E + 02	VER NOTA 4
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">"SALIDA" →</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">+</div> </div>	CARGANDO EL ARCHIVO	
	OCT.23,92 1559 ¿IMPRIMIR DATOS OBTENIDOS?	CONTINUA EN LA SIGUIENTE PAGINA

FIG 17 EJEMPLO DE COMO ARCHIVAR LOS PARAMETROS

## EJEMPLO 2

TECLA PRESIONADA	PANTALLA	COMENTARIOS
"A"	¿ CONOCE LA EFICIENCIA? RUBOUT PARA ABORTAR	
- VER " B "		
ó +	SUMINISTRE % EFICIENCIA	
2 6 . 8 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ENTER</span>	SUMINISTRE % EFICIENCIA 20.8                      ¿OK?	VER NOTA 4 Y 5
"FLUJO" → +	FLUJO EN LPM :	
. 1 3 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ENTER</span>	FLUJO EN LPM : 0.18                      ¿OK?	VER NOTA 4 Y 5
+	CONSTANTE DE CALIBRACION : + 6.18 E +02              ¿OK?	
+	¿ UNIDADES = WL ?	
+		
ó -	CONSTANTE DE CALIBRACION : + 6.18 E +02	
+ VER " SALIDA "		

SI "+" SE  
SUMINISTRO  
UNIDADES =  
WL, SI "-" SE  
SUMINISTRO  
UNIDADES =  
Bq/CU.M EER

CONTINUA EN LA  
SIGUIENTE PAGINA.

FIG.17 EJEMPLO DE COMO ARCHIVAR LOS PARAMETROS.

## EJEMPLO 2

TECLA PRESIONADA	PANTALLA	COMENTARIOS
" B "	CPM OBSERVADAS :	
1 6 7 0 <input type="button" value="ENTER"/>	CPM OBSERVADAS : 1670 ¿OK?	VER NOTA 4 Y 6
<input type="button" value="+"/>	DPM DE LA FUENTE :	
6 2 4 0 <input type="button" value="ENTER"/>	DPM DE LA FUENTE : 6240 ¿OK?	VER NOTA 4 Y 6
<input type="button" value="+"/>	% DE EFICIENCIA : + 2.68 E +01 ¿OK?	VER NOTA 6
<input type="button" value="+"/> VER " FLUJO "		

FIG.17 EJEMPLO DE COMO ARCHIVAR LOS PARAMETROS.

Notas: EJEMPLO 2.

1.-El mensaje "DATA WARNING" es un aviso de que si el archivo de parámetros se revisa y carga a la WLM-1A se puede destruir algún dato anterior contenido en la memoria de la WLM-1A. El archivo de los parámetros se puede acceder sin arriesgar los datos, respondiendo NO "-" a la pregunta "ENABLE EDIT?". Ver nota 3.

2.-Cuando se suministra el tiempo de inicio, la tecla presionada es "repetida" en la pantalla. Si se hizo un suministro equivocado, los números desplegados pueden borrarse, pero el cursor no puede avanzar al siguiente paso.

3.-Una vez, dentro de la rutina de los parámetros, las claves SI "+" y NO "-" se utilizan para pasar al siguiente menú de selección o regresar al menú previo.

4.-Los números de los caracteres emitidos (ejem.: la constante de calibración, eficiencia, dpm de la fuente, etc); pueden suministrarse en notación científica, dando el signo del número, dos espacios decimales, el signo del exponente y dos dígitos exponenciales. Ejemplo:  $100,000 = 1.00E+05$  ó  $0.032 = 3.20E-02$ . La secuencia de teclas para notación científica es como sigue: +1.00+05 el cual se despliega como 1.00E+05.

5.-La rutina se debe concluir a través de estos pasos o la WLM-1A no podrá ser programada. Ver Fig. 20 para un ejemplo de la impresión del archivo de parámetros.

6.-Cada valor calculado fuerza a una doble verificación del mismo; si no es satisfactorio el programa lo recalcula cuando se suministra un NO "-". Si el valor es satisfactorio se suministra un SI "+".

#### 6.3.2.4) Programa para impresión de los datos.

La impresión de los datos se realiza al responder SI "+" a la pregunta "DATA READ-OUI?". Los datos que se imprimen se calculan utilizando los datos obtenidos por la WLM-1A y los parámetros del archivo de parámetros. Los datos se pueden imprimir en un formato PROMEDIO/HISTORICO para muestreos a largo plazo y/o un formato PREDICTIVO para un muestreo de investigación a corto plazo.

La WLM-1A se diseñó para muestreos a largo plazo y es así como proporciona mejor precisión. La mayor precisión requiere de la adquisición de datos en el intervalo del extremo por 4 horas después de que la bomba se apagó y del uso del formato de presentación promedio/histórico de los datos. El formato se imprime respondiendo SI "+" a la pregunta "HISTORY LOG?". Algunos usos de la WLM-1A requieren un período de muestreo corto (de 1 a 3 hrs) para examinar casas con altos niveles de los hijos del radón. Este requisito se cumple utilizando el formato predictivo. Este formato es impreso al responder NO "-" a la pregunta "HISTORY LOG?".

#### 6.3.2.4.1) Formato promedio/histórico.

Cuando se responde SI "+" a la pregunta "HISTORY LOG?". El promedio de los datos acumulados se imprime en ese momento. Si no hay suficientes datos adecuados para calcular el promedio, la misma impresora informa al operador.

El promedio se señala como "PARTIAL" en cualquiera de las 2 condiciones siguientes:

- 1.-La adquisición de datos esta aun en proceso.
- 2.-El(los) datos son acumulados con la bomba averiada o con condiciones no adecuadas de conteo alfa y esto puede dar lugar a obtención de datos antes que sea detectada la falla.

Si un conteo de cero se obtiene en algún intervalo del muestreo, el programa utiliza este intervalo en el cálculo del promedio y la impresión lo hace notar al operador.

Las unidades del promedio se escogen cuando se revisa el parámetro "CALIBRATION CONSTANT" dichas unidades pueden ser:

- 1.- Cuentas por minuto (cpm), si la constante de calibración es 1.0.
- 2.- Niveles de trabajo (WL), si se respondió SI "+" a "UNITS= WL?" , después de corregir la constante de calibración.
- 3.-  $Bq/m^3$  EER si se respondió NO "-" a "UNITS = WL?".

"AVERAGE" es el promedio de los datos acumulados en el período de muestreo total. El cálculo es:

$$\text{Promedio} = \frac{\text{Cuentas totales}}{\text{Tiempo total (min)}} \div \text{Constante de calibración}$$

Si el período de adquisición de los datos concluyó y todos los datos son normales, se aplica lo siguiente:

- 1.- Las cuentas totales abarcan el extremo de 4 horas (período de decaimiento) de conteo y son corregidas por la contribución del torón ( $^{220}Rn$ ).
- 2.- El porcentaje de precisión estadística que se alcanza con el valor de WL se basa en el conteo estadístico y en dos desviaciones estándar ( $2\sigma$ ).
- 3.- El porcentaje de torón se calcula basándose en la velocidad de decaimiento del extremo de 4 horas.

#### 6.3.2.4.2) Formato predictivo.

Este formato se imprime cuando un NO "-" se contesta a la pregunta "HISTORY LOG?". La impresión consta de:

- 1) Fecha, hora.
- 2) Número de WLM.
- 3) Código de localización.
- 4) Fecha y hora de inicio del muestreo.

- 5) Tiempo de muestreo en minutos.
- 6) Unidades de la actividad (WL, cpm o Bq/m<sup>3</sup> EER).
- 7) Predicción de la actividad basada en la contribución del filtro.
- 8) Precisión de la medición.
- 9) Fondo medido antes de iniciar el muestreo.

Los datos pueden ser señalados con un mensaje de error bajo las siguientes condiciones:

- 1.- No hay suficientes datos adecuados o el tiempo de muestreo es inadecuado; "NOT ENOUGH DATA", "PROJECTION IMPOSSIBLE".
- 2.- Si algún dato no es adecuado; "BAD DATA ENCOUNTERED". Esto puede ser el motivo para hacer una impresión en el formato histórico para evaluar la validez de datos/cálculo.
- 3.- Si el fondo es igual a o mayor que 1.0 cpm, "HIGH" es agregado a la impresión "BKG = X.XX+XX".

#### PRECAUCION:

La medición por un período de muestreo corto (ejem.: menor de 24 horas) no refleja la variación en la concentración de radón (WL) de día a noche o de día a día. Además, no refleja las variaciones de la concentración con la ventilación o los cambios en la presión barométrica. Hay que hacer notar que en este modo de cálculo sólo se puede usar un máximo de 3 horas, después del primer muestreo.

#### Limitaciones de este formato:

- 1.- Ver precaución anterior.
- 2.- Este cálculo considera a los hijos del radón en equilibrio.
- 3.- Esta medición considera que la concentración permanece sin cambio.
- 4.- Este cálculo considera solo al <sup>222</sup>Rn (no torón).
- 5.- El tiempo de muestreo debe ser de al menos 10 minutos.

#### PRECAUCION:

El detector de partículas alfa utilizado en la WLM-1A es

sensible al choque mecánico. Fuertes impactos en el estuche cuando la medición está en proceso pueden inducir cuentas y por tanto a inexactitudes en la lectura. Se debe tener cuidado para minimizar tales impactos mientras que la WLM-1A está realizando la medición. Los soportes de goma instalados en la base del estuche, minimizan el efecto, cuando se coloca el instrumento en posición vertical pero no los impactos en el costado que pueden tener un mayor efecto perjudicial. El detector de estado sólido de la WLM-1A se seleccionó por la resistencia a dar señales inducidas por los choques. En general la WLM-1A debe manejarse suavemente y no moverse mientras se muestrea.

La impresión también incluye: fecha y hora actual, número de identificación de la WLM-1A, código de localización, fecha y hora del periodo de los datos. El operador puede seleccionar "SAMPLE" datos del intervalo de muestreo, "TAIL" datos del extremo o ambos suministrando SI "+" cuando aparece la indicación correspondiente o bien a ninguno de los datos con un NO "-".

"SAMPLE" es el promedio de los datos acumulados para cada intervalo de muestreo especificado en el archivo de parámetros. El número de puntos es especificado por "SAMPLE QUANTITY" en el archivo de parámetros. El cálculo es:

$$\text{Promedio del Interv.} = \frac{\text{Cuentas en el intervalo}}{\text{Tiempo del intervalo (min)}} \times \text{Const. Calib.}$$

Cada intervalo se imprime con la hora de inicio y el promedio se calcula para ese intervalo de muestreo. Si se detecta alguna falla, el intervalo se señala con el mensaje de condición anormal.

"TAIL" es el promedio para el intervalo del extremo especificado en el archivo de parámetros. El número de puntos se especifica por "TAIL QUANTITY" en el archivo de parámetros. El cálculo es:

$$\text{Promedio del Interv.} = \frac{\text{Cuentas en el intervalo}}{\text{Tiempo del intervalo (min)}} \times \text{Const. Calib.}$$



Los datos del extremo son útiles sólo para indicar la medida del decaimiento después de que la bomba se apaga. Estos datos no son parte del cálculo "AVERAGE". La corrección por el extremo del decaimiento en el cálculo "AVERAGE" está basada en las 4 horas de medición, que se realizan automáticamente a pesar de que se soliciten en términos del intervalo del extremo y la cantidad de puntos en el extremo. Si las 4 horas de la integración del extremo no se han completado, los datos son señalados como "PARTIAL" (Fig.18, Fig.19 y Fig.20).

#### 6.3.2.5) Programa de pruebas de la WLM-1A.

Este programa proporciona los medios para enviar la WLM-1A al modo de prueba lo que permite su calibración. El programa se introduce respondiendo SI "+" a "TEST WLM?" que aparece en la pantalla durante la selección de programas dentro del menú principal. Después de cualquier secuencia de prueba, la WLM-1A queda en un estado "NO-OPERANDO" y debe reactivarse vía el programa "archivo de parámetros" para iniciar un nuevo período de muestreo. Cualquier prueba iniciada puede concluir automáticamente después de (1) hora para evitar el excesivo agotamiento de la batería.

#### 6.3.2.5.1) Prueba de conteo (Counter Test).

Un SI "+" proporcionado a "COUNTER TEST?" es seguido por "COUNT TIME (sec)" el cual es el tiempo que utiliza la WLM-1A para contar antes de iniciar el cálculo de la tasa de conteo. El tiempo mínimo permitido es 10 seg y el máximo es de 240 seg (4.0 minutos). El tiempo es seleccionado de acuerdo a la precisión estadística deseada. Para la determinación de la eficiencia se sugiere una precisión mínima del 5% con  $2\sigma$ . La siguiente ecuación auxilia para seleccionar el tiempo de conteo.

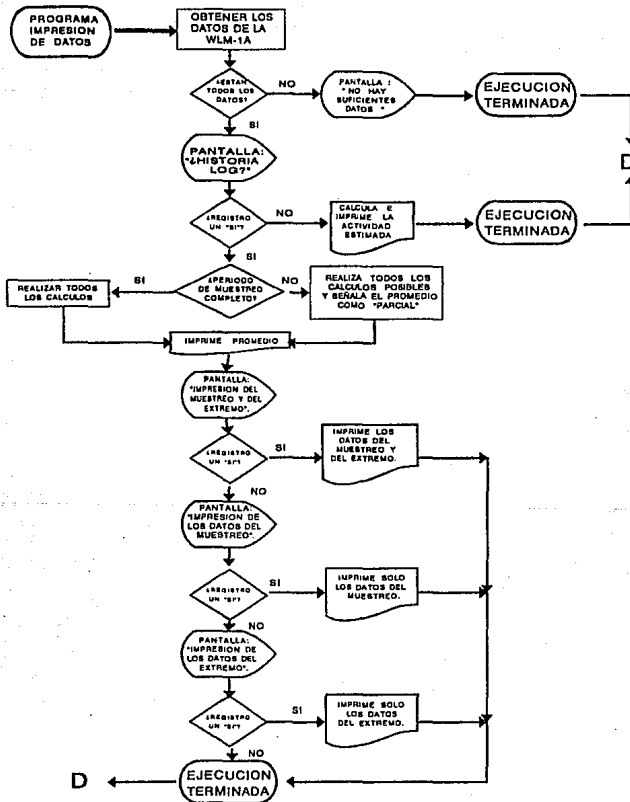


FIG.18 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA IMPRESION DE LOS DATOS.

### EJEMPLO 3

TECLA PRESIONADA

PANTALLA

COMENTARIOS

OCT.26,92 1250  
¿IMPRIMIR DATOS OBTENIDOS?

RUTINA DEL MENU PRINCIPAL

+

OCT.26,92 1250  
¡ RECUPERANDO DATOS !

OCT,26,92 1250  
¿ HISTORIA LOG ?

+

IMPRIME PROMEDIO

ó

-

IMPRIME LA ACTIVIDAD  
ESTIMADA

+

IMPRESION DE  
(SELECCION DE DATOS)

OCT.26,92 1252  
¿ PROBAR WLM ?

RUTINA DEL MENU PRINCIPAL

-

CAMBIA LA SELECCION DE DATOS

OCT.26,92 1252  
¿ PROBAR WLM ?

RUTINA DEL MENU PRINCIPAL

FIG.19 EJEMPLO PARA IMPRESION DE LOS DATOS OBTENIDOS.

```

*****
SEP.10.92
1737
STATUS AT CONNECT:
WLM # 0
LOCATION # 0
NO DATA AVAILABLE
NOT PROG. TO SAMPLE

NEW PARAMETERS:
SEP.10.92
1739
WLM # 1
LOCATION # 17
START TIME:
SEP.11.92 0800
SAMP.INTV.(MIN):080
SAMPLE QUANTITY:048
TAIL INTV.(MIN):030
TAIL QUANTITY:008
CALIB.CONSTANT:
+8.18E+02
UNITS OF WL

DISCONNECT STATUS:
PRE-SAMPLE MODE
WLM # 1
LOCATION # 17
SEP.10.92
1740
*****

```

```

*****
SEP.14.92
1311
STATUS AT CONNECT:
WLM # 1
LOCATION # 17
DATA IS AVAILABLE
ACQUISITION COMPLETE

SEP.14.92
1311
WLM # 1
LOCATION # 17
DATA PERIOD:
SEP.11 TO SEP.13.92
AVERAGE WL:
+2.08E-03 +/- 3.44 %
% THORON NOT
SIGNIFICANT

DATA IN WL
BKG = +8.09E-05
SEP.11.92
0600 +2.16E-04
0700 +5.30E-04
0800 +7.55E-04
0900 +8.20E-04
1000 +1.02E-03
1100 +1.19E-03
1200 +1.08E-03
1300 +1.43E-03
1400 +1.78E-03
1500 +1.97E-03
1600 +1.51E-03
1700 +1.46E-03
1800 +1.59E-03
1900 +1.73E-03
2000 +1.58E-03
2100 +1.19E-03
2200 +1.24E-03
2300 +1.21E-03

```

```

SEP.12.92
0000 +1.62E-03
0100 +1.54E-03
0200 +1.29E-03
0300 +1.73E-03
0400 +1.48E-03
0500 +1.13E-03
0600 +1.78E-03
0700 +1.70E-03
0800 +2.16E-03
0900 +1.21E-03
1000 +1.73E-03
1100 +1.56E-03
1200 +2.05E-03
1300 +2.08E-03
1400 +2.48E-03
1500 +3.05E-03
1600 +3.05E-03
1700 +2.75E-03
1800 +3.58E-03
1900 +3.40E-03
2000 +3.40E-03
2100 +3.21E-03
2200 +2.76E-03
2300 +2.72E-03
SEP.13.92
0000 +2.75E-03
0100 +3.37E-03
0200 +2.13E-03
0300 +2.26E-03
0400 +2.91E-03
0500 +2.32E-03

TAIL DATA:
SEP.13.92
0600 +2.48E-03
0700 +2.21E-03
0700 +1.69E-03
0730 +1.94E-03
0800 +1.51E-03
0830 +1.51E-03
0900 +1.78E-03
0930 +1.94E-03
*****

```

ARCHIVO DE PARAMETROS

IMPRESION DE LOS DATOS

FIG.20 EJEMPLOS DE LA IMPRESION DEL ARCHIVO DE PARAMETROS Y DE LOS DATOS OBTENIDOS.

$$\text{Tiempo de conteo (seg)} = \frac{\text{Factor}}{0.6 \times \text{cpm de la fuente}} \times 60$$

Donde:

Factor	2 $\sigma$ de precisión	
250	13 por ciento	cpm de la fuente =
500	9 por ciento	Velocidad de emisión alfa
1600	5 por ciento	2 $\Pi$ de la fuente.
2000	4.5 por ciento	

Después de que se suministra el tiempo de conteo aparece en la pantalla la tasa de conteo en el tiempo de conteo + 10 segundos. Después de esto, la tasa de conteo se actualiza conforme finaliza cada intervalo de conteo. La WLM-1A se puede separar de la WLR-1A sin interrupción de la prueba. En este modo, la WLM-1A alimenta el alto voltaje al detector y el bajo voltaje al regulador. El amplificador se usa como un contador y transfiere los datos obtenidos a la WLR-1A para el conteo actual y la despliega en la pantalla. Para concluir éste modo de prueba, presionar cualquier tecla en el keypad y responder SI "+" a la pregunta "END TEST?" o reanunciar la WLM-1A oprimiendo el switch RST.

#### PRECAUCION:

Presionar el switch RST de la WLM-1A para reanunciar la unidad y restablecer los parámetros al valor inicial. Esto cancela cualquier secuencia de operación anteriormente definida o en proceso.

#### 6.3.2.5.2) Prueba de la bomba (Pump Test).

Suministrando NO "-" a la pregunta "COUNTER TEST?" aparece "PUMP TEST?", contestando un SI "+" a esta pregunta la WLM-1A entra en este modo de prueba.

**PRECAUCION:**

Asegurarse siempre antes de iniciar esta prueba que la succión de la bomba no este restringida con la fuente de calibración o bien por un filtro. La WLM-1A puede separarse sin interrumpir la prueba; esto prueba el circuito impulsor de la bomba y el switch de presión/circuito de control de la bomba. Este programa de prueba de la bomba se debe utilizar para la calibración del flujo.

Para concluir está prueba, reingresar al programa de pruebas, respondiendo SI "+" a la pregunta "TEST WLM?" que aparece en el menú principal. La pantalla muestra "END TEST?". y si se responde SI "+" a esta pregunta la prueba concluye. Lo mismo sucede al activar el switch RST de la WLM-1A. (Fig.21 y Fig.22).

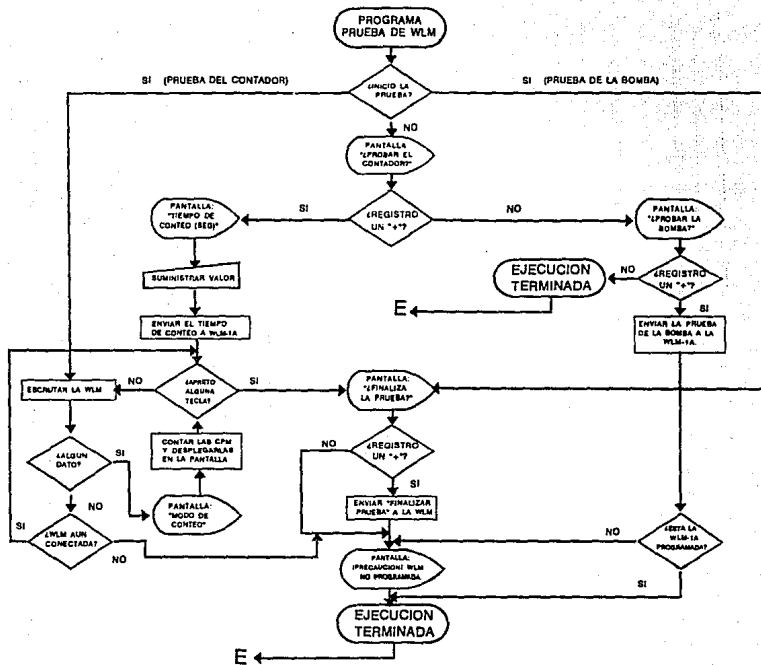


FIG.21 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE PRUEBAS DE LA WLM-1A.

## EJEMPLO 4

TECLA PRESIONADA	PANTALLA	COMENTARIOS
	OCT.26,92 1300 ¿ PROBAR WLM ?	RUTINA DEL MENU PRINCIPAL
+	OCT.26,92 1300 ¿PROBAR EL CONTADOR?	NOTA 1
+	TIEMPO DE CONTEO (SEG)	NOTA 2
6 4 enter	MODO DE CONTEO + 1.67 E+ 03	NOTA 3
* * = CUALQUIER TECLA	OCT.26,92 1300 ¿ FINALIZAR PRUEBA ?	
+	PRECAUCION WLM NO PROGRAMADA	

### NOTAS .

1.- SI SE SELECCIONA UN "\*" EN ESTE PASO, LA WLR-1 PREGUNTA "¿PROBAR BOMBA?". UN "\*" A ESTA PREGUNTA RETORNA AL MENU PRINCIPAL. UN "+" INICIA LA PRUEBA DE LA BOMBA LA CUAL ES CONTROLADA POR LA WLM-1 ASI PERMITE LA PRUEBA Y LA CALIBRACION DEL FLUJO

2.- PUEDE SUMINISTRARSE CUALQUIER TIEMPO DE CONTEO ENTRE 10 s Y 240 s (4.0 m).

3.- EL VALOR QUE APARECE EN LA PANTALLA ESTA EN CUENTAS POR MINUTO.

FIG.22 EJEMPLO DE COMO PROBAR LA WLM-1A.



### 0.3.3) Muestreador de niveles de trabajo, WLM-1A.

#### 0.3.3.1) Descripción general.

El muestreador de niveles de trabajo (WLM-1A) realiza la función de coleccionar las muestras y almacenar los datos. Está compuesto de un microcomputador, es accionada por una batería y proporciona periodos de muestreo de hasta (1) semana. Los parámetros para la colección de los datos se suministran a través de la unidad lectora de niveles de trabajo (WLR-1A). Dichos parámetros son usados por la WLM-1A para obtener un cierto número seleccionado de datos durante el período de muestreo los cuales son almacenados en la memoria hasta que son recuperados por la WLR-1A.

El aire es aspirado a través de un filtro de membrana por una pequeña bomba cuya velocidad de flujo es controlada por el microcomputador. Los hijos del radón se depositan en este filtro y su decaimiento se detecta por medio de un detector alfa de estado sólido de silicio cuya señal pasa al amplificador y al discriminador y es registrada por el microcomputador (Fig.23).

Lo primero que realiza la WLM-1A es tomar una medición de fondo. Se toma en un tiempo anterior a la hora de inicio predeterminada ya programada + 1 segundo + el intervalo de tiempo de conteo requerido. El HV y la electrónica se activan durante este período, pero la bomba está apagada.

Ejemplo: Se introducen a la WLM-1A a las 8:30 A.M los siguientes datos.

Hora de inicio del muestreo: 2:00 P.M.

Intervalo de conteo: 1 hora (60 minutos).

Número de intervalos : 5.

A las 12:59:59 Inicia el conteo de fondo.

A las 2:00 Arranca la bomba.

A las 7:00 Apaga la bomba.

A las 11:00 Apaga la electrónica y el HV (ya que el intervalo del extremo es siempre de 4 horas más).

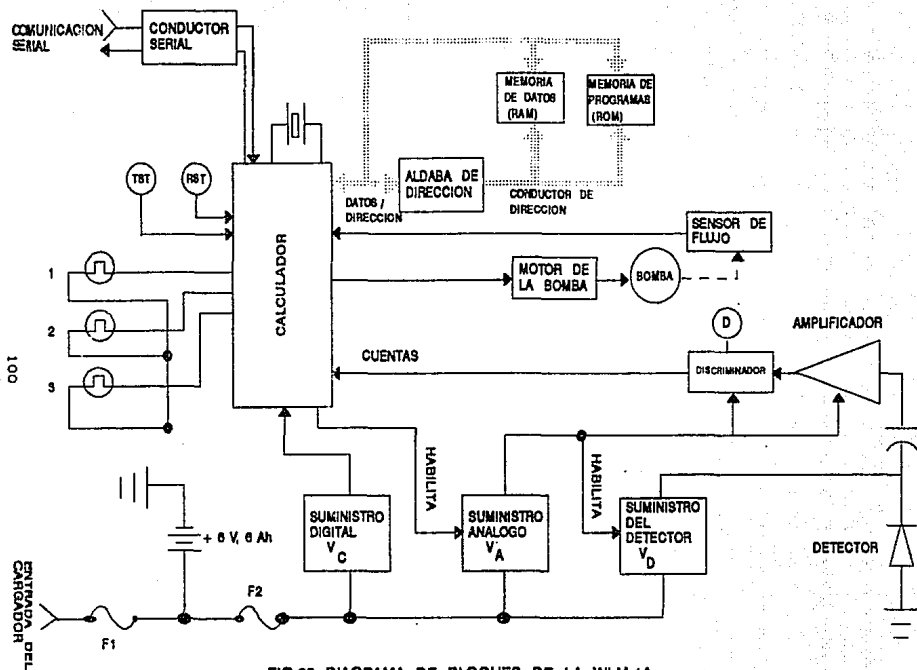


FIG.23 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA WLM-1A.

Después de que la medición de fondo termina inicia el muestreo y el microcomputador enciende la bomba y la WLM-1A mide la actividad depositada en el papel filtro durante el período total especificado en los parámetros suministrados y almacena los datos. El tiempo de cada intervalo y el número de intervalos especificados determinan el período total de muestreo.

Al finalizar el período de muestreo, la bomba se apaga y la actividad del papel filtro decae. Este período de decaimiento o período del extremo, se mide durante 4 horas. Se almacenan los datos totales y las cuentas individuales para los intervalos del extremo si así se especificó.

La unidad lectora incluye entonces las cuentas del extremo de 4 horas en el cálculo del WL y corrige la contribución del torón al tomar en cuenta su vida media. La medición de fondo ayuda a calificar la validez de los datos probando que el sistema de conteo no tiene ruido.

Cuando la WLM-1A concluye su período de muestreo y el conteo de los datos del extremo, corta toda la energía excepto la que alimenta al microcomputador. Este entonces entra en un modo de operación a baja energía para poder conservar los datos por períodos largos después de su colección.

La WLM-1A está empacada en un pequeño armazón de aluminio, es ligera y fácil de manipular, no tiene controles externos que puedan modificarla y su batería puede recargarse en la unidad lectora o con el cargador EBERLINE modelo BC-WLM.

#### ESPECIFICACIONES:

Modelo:	WLM-1A.
Peso:	5-3/4 lbs. (2.6 kg).
Dimensiones:	5-3/4" Altura x 4-5/8" Ancho x 8" Largo (14.6 cm) (11.75 cm) (20.3 cm)
Energía:	Batería interna, 6V, 6Ah celda gel.
Tiempo de cargado:	WLR-1A ó BC-WLM, hasta 24 horas.

Tiempo de operación:  $\approx 2$  semanas con 1 semana máxima de periodo de muestreo.

Sensibilidad:  $2 \times 10^{-5}$  WL a un nivel de confianza del 99%. Basada en un fondo de 0.1 cpm y 168 horas de tiempo de muestreo.

Temperatura:  $32^{\circ}\text{F}$  a  $110^{\circ}\text{F}$  ( $0^{\circ}\text{C}$  a  $43^{\circ}\text{C}$ ).

Humedad: 90 % no condensada.

Velocidad de flujo: Ajustable de 0.12 a 0.18 l/min.

### 6.3.3.2) Teoría de operación.

Para encender la WLM-1A quitar la cubierta, soltando las dos alabas que están en cada uno de los extremos. Previa a la operación de la unidad, colocar el switch (ON/OFF) en la posición ON. Este switch (S1) está en la orilla del tablero del circuito impreso cerca de los 3 LEDES indicadores. Si la WLM-1A no se enciende, la WLR-1A solicita en la pantalla que sea conectada. Después de encender la WLM-1A oprimir el pulsador RESTAR1 (RST, S40). Esto se hace cuando la unidad se utiliza después de estar almacenada o cuando no se quiere conservar los parámetros de muestreo programados, es decir se desean los valores iniciales (Fig.24).

La WLM-1A está compuesta de 3 secciones de circuitos electrónicos: computador, detector y suministro de energía.

#### 6.3.3.2.1) Computador.

El computador proporciona el control de la WLM-1A y ejecuta el programa contenido en la memoria ROM para dicho fin. El computador es un Intel 80C31 (A41) que contiene un calculador completo, un transmisor-receptor asincrónico serie universal (USART) para comunicación en serie y contadores tanto para tiempo como para el detector. La memoria externa RAM (A44, A45) almacena los datos. El 80C31 tiene un bus multiplex para datos (AD0-AD7); un demultiplexado direccionado (A42). El suministro/producción en serie se amortigua por A40 que proporciona el mecanismo de

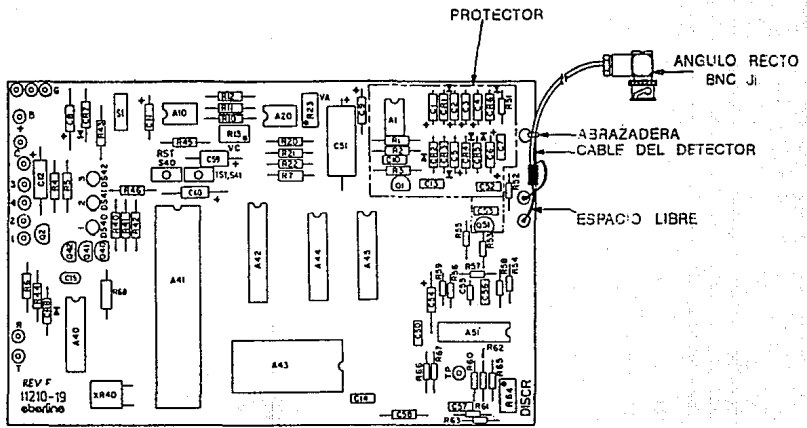


FIG.24 ESQUEMA DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO DE LA WLM-1A.

transmisión de la comunicación entre la WLR-1A y la WLM-1A y ayuda a aislar eléctricamente las 2 unidades. Parte de A40 también se utiliza para controlar las peticiones externas de la RAM y además proporciona el mecanismo de transmisión al circuito de la bomba.

El computador se reestablece cuando se aplica energía o cuando se presiona el switch (S40) RST (rearrancar) lo que origina que el programa inicie su operación en el punto cero (0) y se ajuste la WLM-1A en las condiciones de reinicio ya descritas en el "programa de parámetros".

Después de presionar el switch (S41) IST (prueba); se inicia un programa corto de prueba; primero funciona la bomba durante 2 segundos, encendiéndose las luces 1, 2 y 3 en ese orden y puede permanecer encendida por aproximadamente 2 segundos indicando el modo de operación en que se encuentra:

- 1 = El muestreo no ha comenzado.
- 2 = En funcionamiento.
- 3 = Muestreo terminado.

Cuando se enciende el transmisor Q2 gira el motor de la bomba e impulsa el aire a través de un orificio en el cuerpo de la misma; la caída de presión a través de este orificio es proporcional al flujo de aire y es registrado por el switch S1 de diferencia de presión. El orificio se ajusta con una válvula de aguja en el cuerpo de la bomba y la producción a través del switch S1 se retroalimenta al puerto suministro/producción del computador. La bomba es del tipo de diafragma de desplazamiento positivo, por consiguiente, el flujo es proporcional a las rpm de la bomba y estas se controlan para mantener una relación encendido/apagado del 50% en el switch que registra la presión.

#### G.3.3.2.2) Detector.

El detector es un diodo de silicio de estado sólido; cuando las partículas alfa bombardean al detector, entran a la región

depletada del diodo de unión de respaldo inclinado e interaccionan con él entregando su energía y originando que se produzcan pares de iones; estos pares de iones se producen a una tasa de un par iónico por cada 3.23 eV de energía  $\alpha$  entregada. A causa del gran campo eléctrico en la unión, el par iónico sale fuera de la región depletada y se establece un flujo de corriente que es proporcional a la ionización. Esta corriente origina una caída del voltaje a través de R52 y se pasa al amplificador por medio de C53. El nivel de discriminación se ajusta con R64. La discriminación producida es entonces contada por el computador.

#### G.3.3.2.3) Suministro de energía.

La energía se suministra a la WLM-1A por medio de una batería recargable de 6V, 6Ah de carga electrolítica de plomo - ácido que se recarga cuando la WLM-1A se conecta a la WLR-1A (unidad lectora) o al cargador BC-WLM. Para preservar la energía cuando la WLM-1A no está tomando datos se separan los suministros de energía de bajo voltaje del computador (Vc) y del amplificador/detector (Va) lo que permite al computador volver a apagar el Va cuando no se utiliza.

Los circuitos integrados A10 y A20 son reguladores de voltaje que proporcionan la regulación del mismo con la corriente baja de 10 microamperes. Estos reguladores se ajustan colocando el voltaje en 4.6V; R13 ajusta a Vc y R23 ajusta a Va. El circuito integrado A1 es un regulador de corriente CMOS con un multivibrador estable seguido por un multiplicador de voltaje para proporcionar 22 Vcd al detector. El filtrado se realiza por medio de C7, C52 y R51 (Fig.24).

### 6.3.3.3) Calibración.

La calibración de la WLM-1A requiere el uso de la unidad lectora WLR-1A para recuperar los datos de la WLM-1A. La WLM-1A está diseñada para controlar el bombeo del aire, la colección de los aerosoles en el papel filtro y el conteo de las emisiones alfa de los mismos. La WLR-1A recupera estas cuentas, calcula la velocidad de emisión alfa utilizando la constante de calibración y presenta el resultado obtenido en unidades de Niveles de trabajo (WL), Becquerel por  $m^3$  Equilibrio Equivalente al Radón ( $Bq/m^3$  EER) o cuentas por minuto (cpm).

Se han considerado dos casos extremos para calcular los límites para el factor de conversión de las partículas alfa: si no existe radio A (Ra A), cada partícula alfa emitida tiene 7.69 MeV de energía y el monitor tiene el siguiente factor de conversión:

$$\frac{7.69 \text{ MeV/alfa}}{1.3 \times 10^5 \text{ MeV/WL-litro}} = 5.9 \times 10^{-5} \text{ WL-litro/partícula alfa}$$

Si sólo Ra A está presente en el momento de la deposición en el filtro cada átomo emite partículas alfa de 6.00 MeV y de 7.69 MeV y por tanto, la energía promedio es de 6.85 MeV. En este caso extremo de desequilibrio:

$$\frac{6.85 \text{ MeV/alfa}}{1.3 \times 10^5 \text{ MeV/WL-litro}} = 5.3 \times 10^{-5} \text{ WL-litro/partícula alfa}$$

Si se utiliza este factor el mayor error en la calibración en cualquier situación es sólo del 5%; por lo tanto se puede utilizar un factor único y no es necesario medir por separado el Radio A y el Radio C. La energía alfa promedio asociada con los hijos del torón es de 7.80 MeV y el factor de conversión correspondiente es:

$$\frac{7.80 \text{ MeV/alfa}}{1.3 \times 10^5 \text{ MeV/WL-litro}} = 6.0 \times 10^{-5} \text{ WL-litro/partícula alfa}$$

Por lo tanto, este factor de conversión para los hijos del torón es:



$$\frac{0.0 \times 10^{-5}}{5.0 \times 10^{-5}} = 1.07 \text{ veces el factor de conversión para los hijos del radón.}$$

y el máximo error en la estimación del WL es de 7% si se utiliza el factor de conversión para los hijos del radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) pero la radiactividad es de los hijos del torón ( $^{220}\text{Rn}$ ). Además la WLM-1A también obtiene los datos del extremo (actividad de decaimiento) y esto se suma al computó del WL promedio. Adicionalmente se hace una valoración basada en la vida media del torón a los datos del extremo, y se puede calcular el % de torón y utilizar el valor para corregir el WL promedio por el contenido de torón. El % de torón que se calcula también se imprime.

Para obtener el WL se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{WL} = \frac{(5.6 \times 10^{-5})}{(l) \times (E)} \times C$$

Donde:

- C = cuentas netas durante el intervalo de conteo.
- l = litros de aire muestreados durante el intervalo de conteo.
- E = eficiencia (4%) del conteo alfa determinada usando una fuente calibrada alfa por ejemplo:  $^{230}\text{Th}$ .

Hay que hacer notar que el tiempo de conteo se cancela así que está ecuación se aplica para cualquier tiempo de conteo, siempre que los litros muestreados y las cuentas netas sean para el mismo tiempo. Notar, también que l y E son constantes para cada monitor y están basadas en la calibración de la velocidad de flujo y la eficiencia de conteo. La WLR-1A calcula las cuentas por minuto (cpm) para cada intervalo de conteo y entonces las divide entre la constante de calibración (CC):

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

Puesto que en está relación, la constante de calibración está en unidades de cpm/WL. Para obtener la constante de calibración:

$$CC = \frac{(L) \times (E)}{5.6 \times 10^{-3}}$$

Donde:

L = Velocidad del flujo calibrada en l/min.

E = Eficiencia de conteo (4π) determinada por calibración.

NOTA: EL programa "CAL.FACTOR" de la WLR-1A realiza este cálculo utilizando los datos del suministro obtenido más adelante.

Ya que también un WL puede definirse como 100 picocuries / litro de radón en equilibrio con su descendencia las unidades de Bq/m<sup>3</sup> EER, requieren que se aplique un factor al cálculo del WL. Esto es efectuado por la WLR-1A y se señala cuando no se selecciona "WL" como las unidades "UNITS" durante la revisión de la constante de calibración. Como puede verse la precisión de la medición depende de la calibración del flujo y de la eficiencia de conteo.

NOTA: La constante de calibración está siempre en unidades de cpm/WL.

#### G.3.3.3.1) Eficiencia de conteo.

La eficiencia de conteo es el porcentaje de las partículas alfa emitidas en el filtro que mide la WLM-1A. Para obtener esta cantidad se debe tener una actividad alfa conocida en el filtro y observar las cuentas obtenidas asegurándose de que el detector y el amplificador estén ajustados correctamente. Puesto que una fuente de radón no es práctica se utiliza una fuente electrodepositada y calibrada de <sup>230</sup>Th y contada en la misma geometría.

#### PROCEDIMIENTO:

Se coloca la fuente de <sup>230</sup>Th en vez del papel filtro en un soporte portamuestra con el lado plateado hacia el detector. Hay

que asegurarse que el soporte esté colocado firmemente utilizando la abrazadera. Se conecta la WLM-1A a la WLR-1A y se selecciona "WLM TEST" y "COUNTER TEST". El tiempo de conteo se selecciona de acuerdo a la precisión estadística deseada. La tasa de conteo de la fuente se muestra en la pantalla LCD después de finalizar el tiempo de conteo. Si el conteo de la fuente es igual al último valor obtenido se puede asumir que el detector y el amplificador no se han alterado y la eficiencia es la misma (pasar a calibración del flujo); en caso de no ser así se debe obtener la meseta graficando cpm vs voltaje umbral.

#### OBTENCION DE LA MESETA.

Con la fuente de <sup>230</sup>Th colocada como ya se describió y seleccionando el programa de prueba, registrar las cpm observadas vs la medición del voltaje umbral. Dicho voltaje se mide en la posición "FP" en el tablero de circuitos de la WLM-1A. Para medirlo se utiliza un voltímetro de 20 Kohms o más por volt quitando el conector del voltímetro para observar la velocidad de conteo. Esto reduce la probabilidad de ruido inducido por el conector del voltímetro que sería incluido en las cpm observadas. Se grafican los valores obtenidos (ordenada cpm y abscisa voltaje) y se selecciona el área de la meseta que tiene la pendiente mínima y dentro de ella al voltaje de operación. Este será el punto de operación más estable para el detector y el amplificador. La velocidad de conteo en este punto es la velocidad de conteo observada y su valor se introduce directamente vía el programa de revisión "CALIB.CONSTANT". Otra opción es:

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

Este valor debe ser de 22% a 29%.

#### 6.4.3.3.2) Calibración del flujo.

Se quita la fuente del soporte del filtro y se reemplaza con un papel filtro. Esto es para evitar la tensión excesiva en la ventana del detector y la bomba. Se finaliza la prueba del

contador y se selecciona el programa "PUMP TEST" que opera únicamente la bomba. En este momento la WLM-1A se puede desconectar de la WLR-1A. La velocidad de flujo de la WLM-1A es de 0.12 a 0.18 l/min. Este rango de flujo proporciona la óptima relación eficiencia / control de bombeo y sensibilidad al radón. A causa de esta baja velocidad de flujo el método para medirlo es: la técnica de la burbuja de jabón (Fig.25). Este método requiere de un volumen adecuado para la determinación de la velocidad de flujo y es aceptable cualquier valor entre 0.12 y 0.18 l/min. Si es necesario ajustar el flujo se hace a aproximadamente 0.15 l/min. Registrar el flujo real para usarlo en la fórmula de "CALIBRATION CONSTANT" o introducirlo en el programa de revisión "CALTR. CONSTANT".

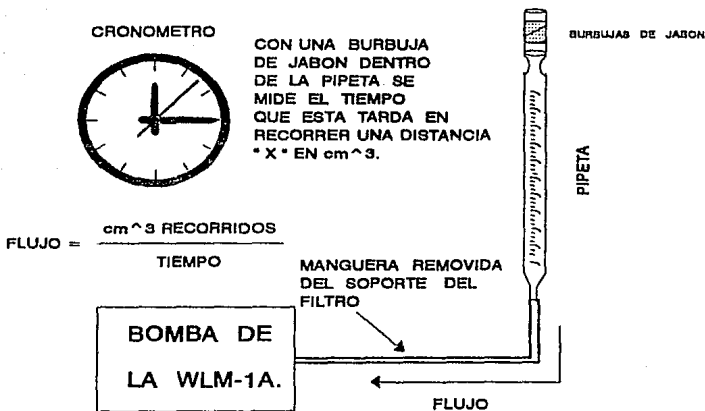


FIG.25 DISPOSITIVO DE MEDICION DEL FLUJO: TECNICA DE LA BURBUJA DE JABON.

#### D.3.3.4) Mantenimiento.

##### G.3.3.4.1) Mantenimiento preventivo.

1.- Si la WLM-1A se almacena por un amplio período de tiempo, la batería debe quitarse o recargarse periódicamente cada seis meses.

##### G.3.3.4.2) Cambio de filtro.

1.- El filtro debe cambiarse antes de cada período de muestreo y colocarse con la cara cuadrículada hacia adentro. Para realizar este cambio de filtro seguir los siguientes pasos (Fig.26):

- a) Quitar la cubierta de la WLM-1A soltando las aldamas de cada extremo y separarla de la base de aluminio.
- b) El armazón de entrada está en un bloque fijado al costado de la caja y contiene el armazón del filtro, el retenedor del mismo y el conjunto de piezas del detector.

#### PRECAUCION:

El detector de estado sólido está protegido con una hoja muy delgada MYLAR, la cual evita que el ambiente ataque al detector. Esta cubierta es frágil y debe tenerse cuidado de no rasgarla o perforarla durante el cambio de filtro; asegurarse de que el retenedor del filtro esté instalado en el armazón del filtro antes de insertarlo en el conjunto de piezas del detector. El omitirlo puede causar algún daño a la cubierta MYLAR.

- c) Aflojar la abrazadera que ajusta en su sitio al conjunto de piezas del soporte y mover la abrazadera a un lado. Quitar todo el armazón del filtro agarrando los accesorios por la succión de la manguera y balanceando el conjunto de piezas de un lado a otro afloja el sello del anillo-O. Cuando sale el anillo-O, esto indica que el conjunto de piezas puede separarse del armazón de entrada.

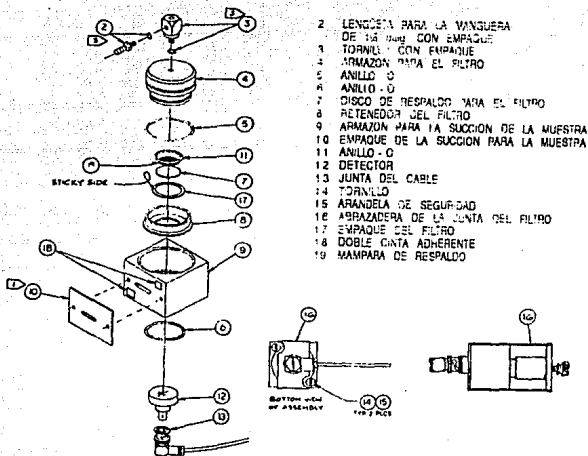


FIG.26 COMPONENTES DEL ARMAZON PARA EL FILTRO.

- d) El filtro es mantenido en su lugar por el retenedor, el cual a su vez es retenido en su lugar por el anillo-O. Se voltea el conjunto de piezas con el filtro, quedando éste mirando hacia arriba, al separar el retenedor el filtro se puede entonces sacar fuera del disco de respaldo.
- e) Centrar el filtro limpio sobre el disco de respaldo y poner nuevamente el anillo del retenedor.

**PRECAUCION:**

No instalar el conjunto de piezas del armazón del filtro sin el anillo del retenedor en su lugar.

- f) Colocar el conjunto de piezas del armazón del filtro en el armazón de entrada y apretar los dos a la vez hasta que el esté en contacto con el tope. Colocar la abrazadera sobre el retenedor y apretar el tornillo.

NOTA: Si la fricción del anillo-O origina que éste gire fuera de su canal, debe lubricarse usando una pequeña cantidad de vaselina.

#### 6.3.3.4.3) Batería.

1.- La WLM-1A es abastecida por una batería electrolítica de plomo - ácido y puede usarse y cargarse en cualquier posición. A la vez que esta es una batería "libre de mantenimiento", son necesarias algunas precauciones para lograr una máxima vida útil (por ejemplo seguir las instrucciones de almacenaje y cargado cuidadosamente).

#### 6.3.3.4.3.1) Vida de servicio.

La vida de una batería de plomo - ácido es muy variable y depende de la temperatura durante su uso y recargado, de la velocidad de descarga, la velocidad de carga y del tiempo entre descarga y recarga. Por lo que sólo se pueden hacer estimaciones de la vida de servicio real. Si el instrumento se utiliza a temperaturas por lo común abajo de 80°F (27°C) y se recarga pronto, debe durar de 300 a 500 ciclos completos de descarga - recarga. Si la batería no está completamente descargada (tiempos de muestreo menores a siete días) se puede esperar más tiempo de servicio. La vida de anaquel de la batería es de 3 a 5 años. Si las condiciones de la batería son sospechosas o desconocidas debe realizarse una prueba de descarga para determinar su condición.

#### 6.3.3.4.3.2) Cargado.

La batería de la WLM-1A debe cargarse utilizando el cargador de batería BC-WLM o el cargador de la WLR-1A. La batería debe recargarse en la posición FAST hasta que la lámpara indicadora se apague; para una batería totalmente descargada esto por lo común toma de 6 a 8 horas (el cargado se hace gradualmente). En este

punto, la batería está cargada aproximadamente al 80% de su capacidad y la carga puede completarse en la posición FAST por otras 8 horas o en la posición FLOAT por al menos 16 horas. No se debe dejar la batería en carga FAST por más de 24 horas ya que esto puede ocasionar envejecimiento prematuro; en la posición FLOAT puede dejarse cargando siempre que se desee. Además debe cargarse totalmente siempre que sea posible ya que si la carga no se completa se puede reducir la capacidad de la batería permanentemente.

#### 6.3.3.4.3.3) Almacenaje.

La batería debe almacenarse totalmente cargada y ya que se auto-descarga lentamente se debe recargar periódicamente. Si el almacén está a 70°F (21°C) o más abajo es adecuado recargar a intervalos de 9 meses. Si la temperatura es más alta el intervalo debe reducirse a 6 meses. Si la batería se almacena descargada los cambios internos pueden ocurrir en menos de 24 horas y ocasionar un funcionamiento inadecuado. Cuando esto ocurre y la batería se conecta al cargador no se obtiene ninguna corriente de carga al inicio (la lámpara indicadora está apagada). Esto puede llevar al usuario a pensar que la batería está totalmente cargada cuando en realidad está totalmente descargada. Si la batería se deja conectada al cargador comienza a cargarse lentamente y va aumentando la corriente hasta que esté cargada normalmente. Al principio la capacidad puede estar reducida pero la recupera totalmente cuando se completan unos cuantos ciclos de descarga-recarga. Si la batería se deja descargada por un periodo de semanas, puede quedar totalmente inservible o nunca recuperarse totalmente.

#### 6.3.3.4.4) Bomba.

1. La calibración del flujo del aire se realiza por intermedio de la aguja situada en el cuerpo de la bomba.



2.- Los cojinetes y los engranes de la bomba deben aceitarse (con un aceite ligero como el usado en una máquina de coser) periódicamente para garantizar una operación suave. Una pequeña gota en cada parte es todo lo que se requiere.

Para aceitar los engranes debe separarse el montaje del mecanismo de transmisión del motor del cuerpo de la bomba aflojando el tornillo de presión que lo mantiene en su lugar. El motor y el engrane principal se separan sosteniendo cada uno con un alicate y sacandolos por separado. Debe tenerse cuidado de asegurarse que las superficies metálicas estén protegidas con tela para evitar estropearlas y que la fuerza de agarre no sea excesiva. Después de separar el motor del engrane principal los dientes del mismo se pueden aceitar colocando una gota de aceite a través de un pequeño orificio en la base del barril. Después de lubricados los engranes, se acopla el motor en el engrane principal (puede ser necesario girar el árbol del engrane principal para permitir que se engrane a la rueda dentada del motor). Cuando se monte el mecanismo de transmisión del motor en la bomba, asegurarse de que el árbol del engrane principal este colocado tan lejos como se pueda del cigüeñal. Debe mantenerse una pequeña separación entre la porción excéntrica del cigüeñal y el cojinete que está apretado en el cuerpo de la bomba. La hendidura evita al cigüeñal el ligado que puede sobrecargar al motor. Es importante que la hendidura sea menor de 0.030" (aproximadamente  $1/32$ " ).

### 6.3.4) Unidad lectora de niveles de trabajo, WLR-1A.

#### 6.3.4.1) Descripción general.

La unidad lectora de niveles de trabajo (WLR-1A) desempeña la función de interface humana para el monitor de niveles de trabajo (WLM-1A). La WLR-1A contiene un keypad de 4 x 4 teclas para la entrada de datos y de comandos, una pantalla LCD de matriz de punto para la lectura visual y la impresora para imprimir los parámetros registrados y los datos recabados, un reloj de tiempo real no volátil para señalar la FECHA/HORA en todas las sesiones de operación. La WLR-1A es un microcomputador que se comunica con el operador, con la unidad muestreadora (WLM-1A) y que realiza los cálculos de los datos que la WLM-1A toma durante el muestreo. El conector de unión para la WLM-1A está montado en el panel delantero y no se necesita colocar ningún cable de interconexión. Todo está contenido en una pequeña maleta fácil de transportar, manejar y almacenar, trabaja con corriente de 117 Vac (Fig.27).

#### PRECAUCION:

El cable de energía de C.A debe colocarse dentro de la maleta enrollado en las ménsulas de la tapa antes de cerrar ya que el no hacerlo puede dar por resultado un daño en el cable o un corto eléctrico.

#### ESPECIFICACIONES:

Modelo:	WLR-1A.
Dimensiones:	14" altura x 18" ancho x 6" longitud (35.6cm x 45.7cm x 15.2cm).
Peso:	15 libras (6.8kg).
Energía:	117 V, 60 Hz 1/4 A.
Temperatura:	50°F a 120°F (10°C a 49°C).

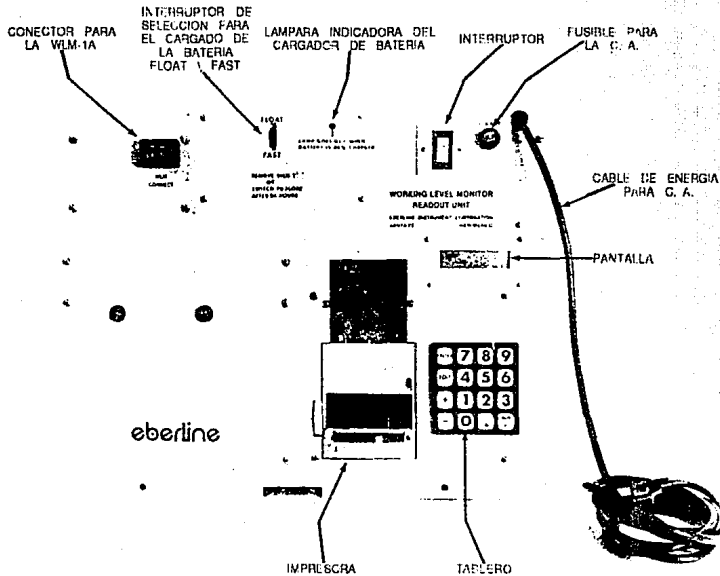


FIG.27 VISTA SUPERIOR DE LOS COMPONENTES DE LA WLR-1A.

#### 6.3.4.2) Teoría de operación.

La WLR-1A está basada en el uso del computador EBERLINE de tablero único (ESPC) que contiene: la unidad procesadora central (INTEL 8085), el programa de memoria, memoria de archivos, bus de interface y la entrada/salida de datos que se requerirán. Adicionalmente, el ESBC se interfasa a la memoria (RAM) no volátil y a un reloj de tiempo real en el tablero (MEMIDR) RAM / reloj (Fig.28). La entrada/salida en paralelo del ESBC se conecta y se programa para controlar la impresora, la pantalla LCD, el keypad de 4 x 4 teclas y la comunicación en serie con la WLM-1A. La comunicación en serie está programada para producir y suministrar un flujo de un bit para el mensaje e intercambio de datos entre la WLM-1A y la WLR-1A. El formato del caracter es (1) bit de arranque, (8) bits para datos y (1) bit de paro. La velocidad del bit es de 2604 baud. La verificación de algún error se realiza verificando totalmente los 16 bits. Cada mensaje que sea modificado se verifica nuevamente por si existe algún error y si alguno se detecta aparece el mensaje de error en la pantalla.

#### 6.3.4.3) Mantenimiento.

##### 6.3.4.3.1) Mantenimiento preventivo.

1.- La WLR-1A no utiliza componentes que requieran un mantenimiento rutinario y solo se recomienda mantener la unidad tan limpia y seca como sea posible.

##### 6.3.4.3.2) Impresora.

###### 6.3.4.3.2.1) Descripción general.

Los impresores alfanuméricos Digitec de la serie 6400 son pequeñas unidades que imprimen alineando al principio como cuando una persona lee normalmente. La impresora interfasa el sistema por medio de un formato de datos en serie o por un bus de interface en

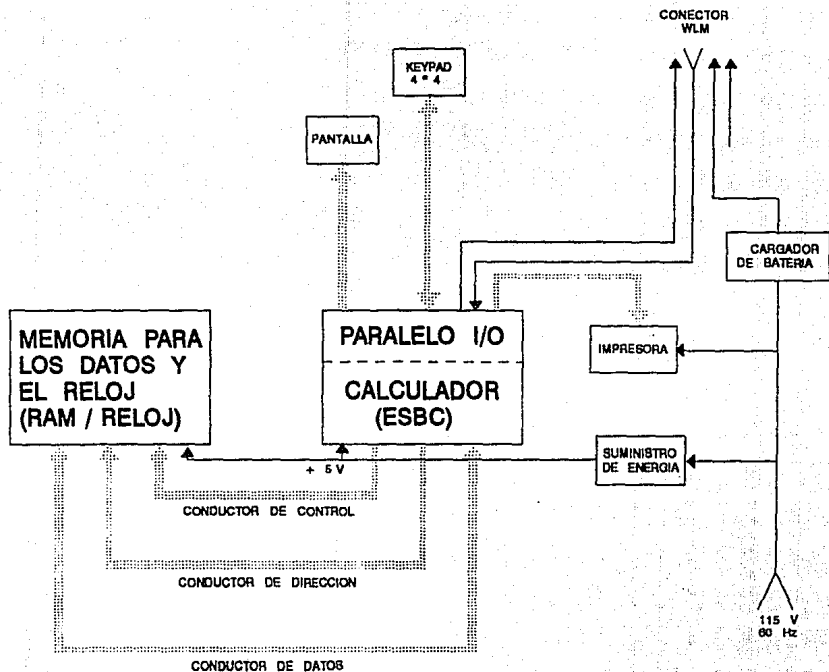


FIG.28 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA WLR-1A.

paralelo de 8-bit. El modelo tiene la capacidad de imprimir 64 caracteres diferentes en una matriz puntual de 5 x 7 controlada por código ASCII. El modelo 6430 que es el que utiliza la WLR-1A emplea la técnica de impresión electrosensitiva que proporciona una operación silenciosa, segura, fácil lectura y un alto contraste de impresión.

#### 6.3.4.3.2.2) Especificaciones.

Modelo	6430.
Vida de la impresora	Cabeza impresora: 3 millones de líneas con reemplazo de partes. Aguja: 1 millón de líneas, 20 caracteres cada una.
Cabeza impresora	Matriz puntual de 5 x 7, electrosensitiva.
Caracteres	Altura: 2.7mm, 21 por línea normal.
Velocidad de impresión	2 líneas por segundo.
Papel	Electrosensitivo, 100 ft $\approx$ 6500 líneas.
Dimensiones.	7.5 in x 3.08 in x 6.12 in.
Peso.	3.5 lbs.
Temp. de operación	0°C a 50°C.

#### PRECAUCION:

No operar la impresora sin tener papel o si este no avanza. El papel debe colocarse con la cara brillante hacia la cabeza impresora.

#### 6.3.4.3.2.3) Energía.

La impresora puede operar con energía de fase única de 115 Vac ó 230 Vac y viene instalada de fábrica la primera a menos que el cliente solicite la de 230 Vac.

#### 6.3.4.3.2.4) Instalación del papel.

La impresora se embarca sin papel para evitar daños a la cabeza impresora. Se utiliza el siguiente procedimiento para instalar el papel en el impresor (Fig.29).

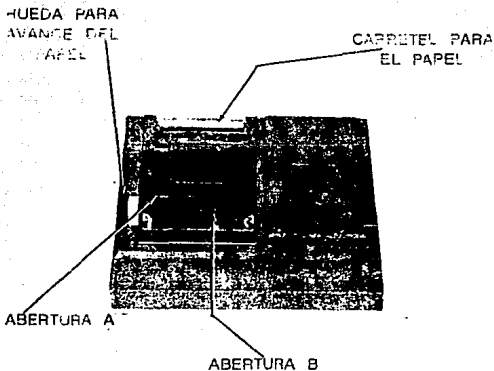


FIG.29 PARTES DEL IMPRESOR PARA LA INSTALACION DEL PAPEL.

NOTA: La impresora no indica cuando se acaba el papel y solo las líneas rojas que aparecen en él indican cuando este se acaba.

**PRECAUCION:**

El papel que utiliza la impresora es eléctricamente conductivo y no se debe permitir que toque los circuitos de la misma mientras se le suministra energía.

- a) Insertar el rollo de papel en el carretel (viene aparte en una bolsa de plástico).
- b) Insertar presionando los extremos del carretel en las ranuras para el mismo de modo que el extremo libre del papel se jale de la base del cilindro hacia la abertura A.

NOTA: Nunca insertar papel nuevo en la cabeza impresora sino hasta que todo el anterior se termine.

c) Insertar el papel en la abertura A, girar la rueda de avance del papel con el pulgar hasta que el papel salga de la cabeza impresora y por la abertura B sobre la barra cortadora y arrancar el exceso de papel.

#### 6.3.4.3.2.5) Limpieza de la cabeza de impresión.

1.- Limpiar la cabeza de impresión con alcohol y si este no puede eliminar los depósitos "adheridos" se puede utilizar una lima para limar transversalmente la punta de la aguja. La cabeza de impresión (aguja) se puede reemplazar si la limpieza no mejora la calidad de la impresión.



### 6.3.5) Cargador de batería para monitor de niveles de trabajo, BC-WLM.

#### 6.3.5.1) Descripción general.

El cargador de batería (BC-WLM); tiene una entrada de corriente de 120 Vac  $\pm$  10%, 57-63 Hz y sirve para recargar la batería de la unidad muestreadora (WLM-1A). El BC-WLM (Modelo 6750M) se puede utilizar para carga rápida o lenta. Las 2 formas de cargado se seleccionan vía el switch "FLOAT/FAST" localizado en la tapa de la caja del cargador; al lado de este switch se encuentra la lámpara indicadora.

El switch "FLOAT/FAST" selecciona el voltaje de carga de la batería a  $7.2 \pm 0.2$  Vdc en la posición "FAST" o a  $6.9 \pm 0.1$  Vdc en la posición "FLOAT". La corriente de carga de la batería está limitada a 750 mA y 6.4 V. La lámpara indicadora de carga se apaga cuando la batería está cargada al 80% en la posición "FAST" y al 50% en la posición "FLOAT". El grado de carga de la batería se puede estimar por la brillantez de la lámpara indicadora. La batería se recarga completamente a 8 A-h, en 16 hrs o menos en la posición "FAST", y en 24 a 36 hrs en la posición "FLOAT". En cualquiera de las 2 posiciones se puede recargar del 75% al 80% en aproximadamente la mitad del tiempo.

NOTA: El switch "FLOAT/FAST" debe moverse de "FAST" a "FLOAT" después de que la lámpara indicadora de carga se apaga. El sobrecargar la batería por amplios períodos de tiempo puede resultar en un daño.

#### 6.4) Metodología.

##### 6.4.1) Calibración de la unidad muestreadora.

Para poder utilizar el monitor de niveles de trabajo (WLM-1A) correctamente en las mediciones de prueba y en los muestreos subsiguientes fué necesario realizar lo siguiente:

- 1.- Se recargó la batería de la WLM-1A por medio del cargador (BC-WLM). Ver 6.3.3.4.3.2) Cargado.

NOTA: Para hacerlo se colocó el switch (S1) en la posición OFF; por lo tanto hay que asegurarse de que si existen resultados en la memoria se impriman. Los parámetros almacenados en la memoria se borran al colocar el swith en OFF.

Está operación se efectuó siempre antes de iniciar cualquier calibración, prueba o muestreo.

- 2.- Verificación de la eficiencia de conteo de la WLM-1A, para lo cual se utilizó una fuente de  $^{230}\text{Th}$  y se siguieron los procedimientos descritos en 6.3.3.3.1) Eficiencia de conteo y 6.3.3.4.2) Cambio de filtro (para colocar la fuente en vez del papel filtro). Está calibración se hizo al inicio del trabajo y después con una periodicidad mensual.
- 3.- Verificación de la velocidad de flujo de la bomba para lo cual se empleó la técnica de medición de la burbuja de jabón, que se describió en el punto 6.3.3.3.2) Calibración del flujo. Esta medición se hizo 20 veces y se obtuvo el promedio. Dicho valor se introdujó en 6.3.2.3) Programa de parámetros. Esta calibración se hizo al inicio del trabajo experimental y después con una periodicidad mensual.

#### 6.4.2) Periodo óptimo de muestreo.

La siguiente etapa fué conocer el periodo óptimo de muestreo para lo cual se realizaron mediciones de prueba en dos habitaciones A y B. La primera (A) fué el cubículo 325-2 de la Sección de Química Nuclear; ubicado en el 3er. piso del Edificio "D" de la Facultad de Química. La segunda (B) fué la recámara de una casa ubicada en la Delegación Alvaro Obregón. En el interior de las habitaciones se colocó la unidad muestreadora en el mismo lugar y a la misma altura (75cm para A y 45cm para B) con relación al piso y en condiciones de "casa cerrada" (Ver 5.2.2) Condiciones de la casa). Los periodos de muestreo utilizados fueron de 24, 48 y 72 horas, las pruebas se realizaron en las siguientes fechas:

Del 23-JUL-92 al 10-AGO-92 para el lugar A

Del 12-AGO-92 al 3-SEP-92 para el lugar B

Los pasos que se siguieron para efectuarlas fueron los siguientes:

- 1.- Colocación del papel filtro "limpio". Ver 6.3.3.4.2) Cambio del filtro.
- 2.- Establecimiento de la fecha y hora en la WLR-1A. Ver 6.3.2.2) Programa para el reloj.
- 3.- Establecimiento de los parámetros de muestreo. Ver 6.3.2.3) Programa de parámetros.
- 4.- Colocación del monitor (WLM-1A) en la habitación a monitorear.  
NOTA: Se debe tener cuidado de no golpear, ni mover la WLM-1A hasta que concluya el periodo de muestreo.
- 5.- Recuperación de los datos obtenidos por la WLM-1A. Ver 6.3.2.4) Programa para impresión de los datos. Para realizar está se conectó la WLM-1A a la WLR-1A.  
Estos pasos se repitieron en cada prueba.

#### 6.4.3) Muestreo.

Una vez seleccionado el tiempo óptimo de muestreo se inició el programa de muestreo en el mes de Septiembre (fin del verano). Para ello se seleccionaron 25 casas en una zona de la Delegación Alvaro Obregón (Fig.9). La manera más apropiada para seleccionar los participantes sería un muestreo totalmente al azar de un gran número de casas. Sin embargo, en este trabajo se adoptó un método alternativo muestreando casas de familiares y amigos. Este grupo contenía una amplia variedad de ocupaciones y estratos, mientras que al mismo tiempo representaba el estado y hábitos de vida típicos para esta zona del D.F. Antes del muestreo se les proporcionó a los moradores las instrucciones para mantener las condiciones de "casa cerrada" (desde 12 horas antes de la medición) y un cuestionario (Apéndice A) para conocer las características y período de construcción de las casas, así como los hábitos (fumar, etc) y su estado de salud. Los muestreos se efectuaron del 5-SEP-92 al 16-DIC-92 y dentro de este período se desarrolló el control de calidad. Para efectuar el muestreo en el interior de las casas se siguieron los siguientes pasos:

- 1.- Recargar la batería. Ver 6.3.3.4.3.2) Cargado.
- 2.- Cambiar el papel filtro. Ver 6.3.3.4.2) Cambio del filtro.
- 3.- Establecimiento de los parámetros. Ver 6.3.2.3) Programa de parámetros.
- 4.- Colocación del monitor en la habitación (recámara o sala) a muestrear a una altura que osciló desde el piso hasta 70cm y muestreo durante 48 horas iniciando siempre a las 6.00 A.M.
- 5.- Al finalizar el período de muestreo recuperación de los datos obtenidos. Ver 6.3.2.4) Programa para impresión de los datos.

En esta etapa también se colocaron dosímetros termoluminiscentes de  $CaSO_4:Dy$  + PTFE en el interior de la habitación a una altura entre 1.50 y 2.00m que se dejaron en esa

posición y lugar durante un mes, al final del cual se leyeron en un lector Harshaw-4000 y de una curva de calibración se obtuvo la exposición en mR. Esto se repitió en dos ocasiones más por el mismo periodo por lo que al final obtuvimos un promedio de la exposición a la radiación ambiental.

los resultados obtenidos de los muestreos se analizaron utilizando el Control Estadístico de Calidad (gráficos de control con sus límites de control superior e inferior); así como también se obtuvo las medias aritmética y geométrica.

#### 6.4.4) Control de calidad.

El control de calidad integral es importante en varios aspectos, como el hacer mediciones en condiciones estandarizadas para que las medidas sean reproducibles y poder estimar cuantitativamente la variación asociada con los resultados de las medidas. Otra parte importante de las medidas de control de calidad es el asegurar que los datos estén científicamente fundados y sean de precisión y exactitud conocida, para lo cual se elaboró un programa calendarizado donde se establece cuándo se deben realizar:

##### 1.- Medidas de calibración del equipo.

- a) Calibración en eficiencia con la fuente de <sup>230</sup>Th (mensual).
- b) Calibración del flujo de la bomba (mensual).
- c) Calibración en una cámara con un ambiente controlado de radón (trimestral).

##### 2.- Medidas por duplicado.

Se hicieron medidas por duplicado en el 10% de las casas muestreadas, lo que nos sirve para estimar la precisión de los resultados.

3.- Medidas blanco.

Se hicieron medidas a muy bajas concentraciones de radón o sea en el exterior, en el medio ambiente normal, separadas del programa de monitoreo, al comienzo del mismo y periódicamente después (mensualmente).

4.- Establecimiento del límite inferior de detección (LLD) del equipo.

El establecido por el proveedor es de  $2 \times 10^{-5}$  WL pero se determinó experimentalmente basándonos en el fondo (WL) de cada muestreo.

5.- Los resultados de los muestreos se sometieron a un análisis utilizando el método de Control Estadístico de Calidad (límites de control superior e inferior) y se sometieron a un análisis estadístico para obtener datos como: promedio aritmético y geométrico.

## CAPITULO 7

### RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.

Para analizar los resultados se emplea el control estadístico (gráficos de control por variables) ya que este método establece el límite máximo y mínimo de variación que estadísticamente se obtienen a partir de las lecturas que se miden; este control de calidad indica si existen puntos en los cuales se presentó alguna anomalía (puntos fuera de los límites). Los gráficos de control por variables que se emplean para realizar el análisis son los gráficos  $\bar{x}$ - $r$  (analizar solo una muestra) y  $\bar{\bar{x}}$ - $\bar{r}$  (analizar un grupo de muestras). Algunas ventajas que proporciona el control estadístico son:

- Detección de variaciones anormales.
- Determinación de los límites de variación (a un nivel de confianza de 99.73 por 100 ó  $3\sigma$ ).

La finalidad del control estadístico es la de lograr que esta herramienta de trabajo nos de un soporte fiel del comportamiento del proceso para dar una solución a las causas que lo generen.

#### 7.1) Calibraciones.

Con el fin de obtener lecturas confiables, se realizaron las siguientes calibraciones como parte del control de calidad.

##### 7.1.1) Calibración en eficiencia.

La tabla 7 muestra los resultados de las 5 calibraciones que se realizaron para conocer la eficiencia de conteo del detector. Las calibraciones se realizaron a un nivel de significación de 0.045 (4.5 por 100 de probabilidad de error del tipo I) ó  $2\sigma$ . La lectura promedio de las 5 calibraciones es 1673 cpm lo que da una eficiencia promedio de 26.81%. La lectura individual máxima es 1720 cpm (eficiencia del 27.56%) y la mínima es 1620 cpm (eficiencia del 25.96%). Como se observa las eficiencias que se obtienen están dentro del rango que el fabricante recomienda.

## TABLA 7. CALIBRACION EN EFICIENCIA.

FUENTE:Th-230 BLINDAJE:ACERO INOXIDABLE DISCO:0.79mm ESPESOR DIAM.TOT.:2.23cm DIAM.ACTIVO:1.91cm

cpm EMITIDAS DE LA SUPERFICIE DEL DISCO: 3120 cpm +/- 219 (2 $\sigma$ )

dpm EMITIDAS DE LA SUPERFICIE DEL DISCO: 6240 dpm +/- 437 (0.00281  $\mu$ Ci)

CALIBRACION Nº	FECHA	1 cpm	2 cpm	3 cpm	4 cpm	PROMEDIO cpm	% DE EFICIENCIA
1	23/JUL/92	1690	1720	1670	1680	1690	27.1
2	21/AGO/92	1660	1690	1660	1670	1670	26.8
3	26/SEP/92	1720	1650	1620	1690	1670	26.8
4	26/OCT/92	1720	1630	1690	1660	1675	26.8
5	25/NOV/92	1690	1650	1660	1640	1660	26.6

$$\% \text{ DE EFICIENCIA} = \frac{\text{cpm PROMEDIO}}{\text{dpm FUENTE}} * 100$$

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



### 7.1.2) Calibración del flujo.

La tabla 8 muestra los resultados de las 4 calibraciones del flujo, en estas calibraciones se empleó una pipeta graduada de 25ml y un cronómetro. El flujo promedio máximo es 0.132 l/m, el promedio mínimo es 0.1293 l/m y el promedio de las 4 calibraciones es 0.1303 l/m. Todas las calibraciones están dentro del rango que recomienda el fabricante y el flujo prácticamente se mantuvo constante, esto lo corrobora la desviación estándar (muy pequeña) que se obtiene en cada calibración.

### 7.2) Periodo óptimo de muestreo.

La tabla 9 muestra la secuencia de cálculo que utiliza la WLR-1A para imprimir los resultados del muestreo, estos cálculos se realizan con los datos que colecta la WLM-1A y los datos del archivo de parámetros, además se indica el factor de conversión que se utiliza para transformar datos en WL a Bq/m<sup>3</sup> EER.

La tabla 10 muestra como calcular los límites de control de datos y rango (gráfico x-r) considerando la contribución del intv. del extremo (C). Aquí se explica como calcular los límites de control cuando existe un % de torón, cuando es insignificante y cuando está invalidado (este último únicamente en pruebas se calculan). La secuencia para calcular los límites de una sola muestra es la siguiente:

- 1) Utilizar el gráfico de control x-r (dato - rango), donde la línea central es  $\bar{x}$  y  $\bar{r}$ .
- 2) Obtener los rangos de los datos del intervalo de muestreo. (|dato1-dato2|, |dato2-dato3|, ..., |dato47-dato48|), para medidas de investigación y (|dato1-dato2|, |dato2-dato3|, ..., |dato23-dato24|, para medidas de seguimiento.
- 3) Obtener la sumatoria de los datos del intv. de muestreo ( $\Sigma x$ ) y su promedio ( $\bar{x}$  o Prom. x S).
- 4) Obtener la sumatoria de los rangos que se calcularon anteriormente ( $\Sigma r$ ) y su promedio ( $\bar{r}$  o Prom. r S).
- 5) Calcular los límites de control sin incluir al intv. del extremo (S).

**TABLA 8. CALIBRACION DEL FLUJO.**  
 EN CADA CALIBRACION SE TOMARON 20 LECTURAS DE TIEMPO.

CALIBRACION Nº	FECHA	VOLUMEN ml	TIEMPO PROM. seg	FLUJO PROM. l/min	$\sigma_n$	$\sigma_{n-1}$
1	21/AGO/92	20	9.22	0.1303	0.000343	0.000352
2	26/SEP/92	20	9.28	0.1293	0.000376	0.000386
3	26/OCT/92	20	9.26	0.1296	0.000629	0.000645
4	25/NOV/92	20	9.09	0.1320	0.000506	0.000519

$$\text{FLUJO (l/m)} = \frac{\text{VOLUMEN (ml)} * (60\text{s}) * (1\text{l})}{\text{TIEMPO (s)} * (1\text{m}) * (1000\text{ml})}$$

NOTA: EL VALOR DEL FLUJO DEBE ESTAR ENTRE 0.12 Y 0.18 (l/m).

## TABLA 9. CALCULO DE LOS NIVELES DE TRABAJO (WL).

UNA VEZ QUE SE OBTIENEN LOS DATOS DE LOS WL LA WLR-1A EJECUTA LOS SIGUIENTES CALCULOS ANTES DE IMPRIMIRLOS.

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE CONTEO:

LOS DATOS DEL MUESTREO Y DEL EXTREMO SON TRANSFERIDOS COMO CUENTAS EN BRUTO. PARA CONVERTIR ESTOS VALORES A NIVELES DE TRABAJO, EVALUAR LA ECUACION:

$$\text{VELOCIDAD DE CONTEO} = \frac{C}{\text{CONSTANTE DE CALIBRACION} \cdot \text{INTERVALO}}$$

C = CUENTAS DEL MUESTREO O DEL EXTREMO

INTERVALO = INTERVALO DE TIEMPO CORRESPONDIENTE A LA MUESTRA O AL EXTREMO

CONST. DE CALIBRACION = EN cpm / WL

CALCULO DEL % DE TORON:

ESTE SE REALIZA COMPARANDO LAS CUENTAS DEL EXTREMO (4hr) CON EL VALOR ESTIMADO CUANDO NO HAY CONTRIBUCION DE TORON.

$$\% \text{ TORON} = \frac{(K/A) \cdot 62.108}{100.10} \cdot 100$$

K = SUMA DEL EXTREMO DE 4 HORAS.

A = VELOCIDAD DE CONTEO AL APAGAR LA BOMBA.

CONTRIBUCION TOTAL DEL EXTREMO DE DECAJMIENTO:

LA ESTIMACION DE LA CONTRIBUCION TOTAL DEL EXTREMO (M) SE PUEDE CALCULAR SI EL % TORON ES DETECTABLE Y SE CONOCE.

$$M = (5.454 \cdot K) + (231.5 \cdot A)$$

ESTE VALOR ESTARA MUY CERCANO A K SI LA FRACCION DE TORON ES MUY PEQUEÑA

FACTOR DE CONTRIBUCION DE TORON:

EL FACTOR DE CONTRIBUCION DE TORON (ThAdder) SE UTILIZA PARA AJUSTAR EL WL PROMEDIO

SI LA CONTRIBUCION DE TORON ES SIGNIFICATIVA

$$\text{ThAdder} = 1 + (\% \text{TORON} \cdot 8.00E-04)$$

EN LA WLR-1A, ThAdder NO SE CALCULA, SI LA VELOCIDAD DE CONTEO AL CORTAR EL BOMBEO ES DE 15 cpm O MENOR.

CUENTAS TOTALES:

LAS CUENTAS TOTALES ACUMULADAS SON: LAS CUENTAS TOTALES DEL MUESTREO (CNTS) MAS EL EXTREMO (M)

$$\text{CUENTAS TOTALES} = \text{CNTS} + M$$

CNTS = ES LA SUMA DE CUENTAS DEL INTERVALO DE MUESTREO

M = CONTRIBUCION TOTAL DEL EXTREMO DE DECAJMIENTO

NIVEL DE TRABAJO PROMEDIO:

EL NIVEL DE TRABAJO PROMEDIO, CORREGIDO POR LA CONTRIBUCION DE TORON (SI ES APLICABLE), SE CALCULA COMO SIGUE:

$$\text{(WL) PROMEDIO} = \frac{\text{CUENTAS} \cdot \text{ThAdder}}{T \cdot \text{CONSTANTE DE CALIBRACION}}$$

CONVERSION DE WL A Bq / m<sup>3</sup> EER:

$$\text{WL} \cdot 3700 = \text{Bq} / \text{m}^3 \text{ EER}$$

DONDE:

T = TIEMPO TOTAL DE MUESTREO (BOMBA ENCENDIDA)

PORCENTAJE DE ERROR:

EL PORCENTAJE DE ERROR ES UNA FUNCION DE LAS CUENTAS TOTALES ACUMULADAS (CNTS + M). SE ACEPTA UN 95% DE NIVEL DE CONFIANZA O 2  $\sigma$ .

$$\% \text{ DE ERROR} = \frac{2 \text{ CUENTAS}}{\text{CUENTAS}} \cdot 100$$

TABLA 10. CALCULO DE LOS LIMITES CON EL INTV. 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:

CUANDO EXISTE UN % DE TORON.

$$B = ((\bar{X}_c - \bar{X}_s) * 48) / \sum X$$

$$D = B / 48$$

CUANDO EL % DE TORON ES INSIGNIFICANTE

$B = 0.5$  , POR LO QUE  $D = 0.0104166$ ; PARA NO UTILIZAR ESTE VALOR OBTENEMOS SU INVERSO EL CUAL ES  $96$  Y POR TANTO LA CONTRIBUCION DEL EXTREMO ES  $\sum X / 96$

RESUMIENDO  $\bar{X}_c = \bar{X}_s + (\sum X * D)$  EXISTE UN % DE TORON

$\bar{X}_c = \bar{X}_s + (\sum X / 96)$  % DE TORON INSIGNIFICANTE

NOTA : S = SIN INTERVALO DEL EXTREMO

C = CON INTERVALO DEL EXTREMO

PARA APLICAR LAS FORMULAS SE DEBE UTILIZAR LOS DATOS QUE EL EQUIPO REPORTA, LOS CUALES SON:

- PROMEDIO GENERAL ( $\bar{X}_c$ ) CON INTERVALO DEL EXTREMO
- PROMEDIO PARCIAL ( $\bar{X}_s$ ) SIN INTERVALO DEL EXTREMO
- SUMATORIA DE LOS 8 DATOS DEL EXTREMO ( $\sum X$ )
- HORAS MONITOREADAS = 48 hrs, PARA LAS MEDIDAS DE SEGUIMIENTO SON 24 hrs

PARA LOS RANGOS SE DEBE EMPLEAR EL FACTOR D Y EL 96 PARA CONOCER LA CONTRIBUCION QUE SE DEBE SUMAR AL PROMEDIO DE LOS RANGOS DE LOS DATOS DEL MUESTREO.

$\bar{r}_c = \bar{r}_s + (\sum r * D)$  EXISTE UN % DE TORON

$\bar{r}_c = \bar{r}_s + (\sum r / 96)$  % DE TORON INSIGNIFICANTE

PARA EL CASO DEL % DE TORON ESTADISTICAMENTE INVALIDADO (PRUEBAS) SE APLICA EL MISMO PROCEDIMIENTO, QUE SE UTILIZA CUANDO EXISTE UN % DE TORON.

LOS LIMITES SE CALCULAN POR TANTO ASI:

$$LSCx_c = \text{PROM } x_c + A_{xr} (\text{PROM. } r_c)$$

$$LICx_c = \text{PROM. } x_c - A_{xr} (\text{PROM. } r_c)$$

$$LSCr_c = D_{rs} (\text{PROM. } r_c)$$

$$LICr_c = D_{ri} (\text{PROM. } r_c)$$

$A_{xr}$ ,  $D_{rs}$  Y  $D_{ri}$  SON CONSTANTES QUE SE UTILIZAN PARA DETERMINAR LOS LIMITES DE CONTROL 3  $\sigma$  DE LOS GRAFICOS DE  $x$  Y  $r$  A PARTIR DE  $\text{PROM. } r$  (VER REFERENCIA Rv90).

$$LSCx S = Prom.x S + A_{xr} (Prom.r S)$$

$$LICx S = Prom.x S - A_{xr} (Prom.r S)$$

$$LSCr S = Dra (Prom.r S)$$

$$LICr S = Dri (Prom.r S)$$

Los valores de las constantes a 3 $\sigma$  para este gráfico son:

Para  $n = 2$ ,  $A_{xr} = 2.66$ ,  $Dra = 3.27$ ,  $Dri = 0$ . (Rv90)

Con los datos del intervalo del extremo se realiza lo siguiente:

6) Obtener los rangos de los datos del intv. del extremo.

(|dato49-dato50|, |dato50-dato51|,....., |dato55-dato56|), para medidas de investigación y (|dato25-dato26|, |dato26-dato27|,....., |dato31-dato32|), para medidas de seguimiento.

7) Obtener la sumatoria de los datos ( $\Sigma x$ ) del intv. del extremo y la sumatoria de los rangos ( $\Sigma r$ ) que se obtuvieron en el paso 6.

8) Debido a que no se conoce la velocidad de conteo al apagarse la bomba de la WLM-1A, el factor que se utiliza para calcular la contribución del extremo que se debe sumar al promedio de los datos del intv. de muestreo se calcula de la manera siguiente:

a) Cuando el % de torón es insignificante.

Dividir la sumatoria de los datos del intv. del extremo entre 96 (medidas de investigación)  $\Sigma x/96$  y entre 48 (medidas de seguimiento)  $\Sigma r/48$  y sumar este valor al Prom.x S para obtener el Prom.x C (promedio final que reporta el equipo); para los rangos se divide la sumatoria de los rangos del intv. del extremo entre 96 (medidas de investigación)  $\Sigma r/96$  y entre 48 (medidas de seguimiento)  $\Sigma r/48$  y el valor obtenido se suma al Prom.r S para obtener el Prom.r C (final).

b) Cuando existe un % de torón o está estadísticamente invalidado (pruebas).

Conocer el factor (D) a partir de los datos obtenidos y del promedio final que reporta el equipo ( $\bar{x}C$ ), este factor se calcula así:

$$\text{Factor } D = B/48 \text{ y } B = ((\bar{x}C - \bar{x}S) * 48) / \Sigma x$$

Nota: 48 = Horas muestreadas en el intv. de muestreo

$\Sigma x$  = Sumatoria de datos del intv. del extremo

Multiplicar la sumatoria de los datos del intv. del extremo por el factor D ( $\Sigma x * D$ ) y sumar el resultado al Prom. x S para obtener el Prom.x C (promedio final); después multiplicar la sumatoria de

los rangos del intv. del extremo ( $X_r$ ) por el factor D y sumar el resultado al Prom.r S para obtener el Prom.r C.

9) Calcular los límites de control ya incluyendo al intv. del extremo.

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

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

$$LSCr C = Drs (\text{Prom.}r C)$$

$$LICr C = Dri (\text{Prom.}r C)$$

Los valores de las constantes son los mismos que se utilizaron anteriormente. Los límites que se obtienen son la variación máxima y mínima que estadísticamente se obtiene al considerar la contribución del extremo.

La tabla 11 muestra los resultados de las pruebas que se realizaron en dos lugares (A y B). A es un cubículo en el 3er piso del edificio "D" de la Fac. de Química y B es una recámara en planta baja en la Del. Alvaro Obregón. Las pruebas se realizaron en estos dos sitios debido a que los resultados de A no eran del todo satisfactorios ya que se reportaba el % de torón como invalidado en la mayoría de las pruebas (4 de 7) y los WL's promedio reportados en cada prueba varían demasiado (máximo 2.27WL y mínimo 0.225WL), por lo que se realizaron pruebas en B y con sus resultados se decidió el período óptimo de muestreo. El % de variación en todas las pruebas es menor a 4.5%. Cabe señalar que en el muestreo de 48h en B la variación entre los WL promedio es mucho más pequeña que la de 24h.

La tabla 12 muestra los límites de control de datos y rango que se calculan con y sin la contribución del extremo para cada una de las pruebas, estos límites señalan la variación máxima y mínima que estadísticamente se obtienen a partir de las lecturas tomadas. Los puntos que quedan fuera de estos límites son puntos en los cuales se presentó alguna anomalía. El período óptimo de muestreo es aquel que tiene la menor cantidad de puntos fuera por lo que cada prueba se analizara por separado, la secuencia de análisis es:

1) Utilizar los límites de control de los datos que se calculan sin la contribución del extremo ( $LSCx S$  y  $LICx S$ ).

**TABLA 11. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.**  
 SE REALIZARON PARA CONOCER CUAL ES EL PERIODO DE MUESTREO OPTIMO.

PRUEBA Nº	PERIODO	LUGAR	WL PROM.	+ / - % DE VARIACION	% DE TORON	CTE. CAL cpm/WL	FONDO WL (cpm)	MUESTREO HORAS
1	23-24JUL.	A	2.27	0.28	INVALIDADO	722	0.00897 (5.03)	24
2	25-26JUL.	A	1.71	0.20	97	722	0.0137 (9.89)	24
3	27-28JUL.	A	0.425	0.40	INVALIDADO	722	0.0039 (2.82)	24
4	29-31JUL.	A	0.224	0.34	98	722	0.000392 (0.283)	48
5	01-03AGO.	A	0.225	0.36	INVALIDADO	722	0.0006 (0.433)	48
6	04-06AGO.	A	0.308	0.32	84	722	0.000785 (0.567)	48
7	07-10AGO.	A	0.680	0.16	INVALIDADO	722	0.000577 (0.417)	72
8	12-13AGO.	B	0.0198	1.51	45	722	0.0000923 (0.0666)	24
9	15-17AGO.	B	0.00323	2.51	INSIGNIFICANTE	722	0 (0)	48
10	20-21AGO.	B	0.00285	4.20	INSIGNIFICANTE	618	0.000027 (0.0167)	24
11	22-24AGO.	B	0.00222	3.28	INSIGNIFICANTE	618	0.0000809 (0.0499)	48
12	26-27AGO.	B	0.00255	4.47	INSIGNIFICANTE	618	0.000027 (0.0167)	24
13	28-31AGO.	B	0.00258	2.48	INSIGNIFICANTE	618	0.000027 (0.0167)	72
14	01-03SEP.	B	0.00280	2.92	INSIGNIFICANTE	618	0.000027 (0.0167)	48

137

A= CUBICULO EN EL 3er PISO. B= RECAMARA (PLANTA BAJA) DE CASA HABITACION.

## TABLA 12. LIMITES DE CONTROL PARA LAS PRUEBAS.

LSC = LIMITE SUPERIOR DE CONTROL LIC = LIMITE INFERIOR DE CONTROL x = DATOS r = RANGO

PRUEBA N°	PROM. x S	PROM. r S	LSCx S	LICx S	LSCr S	LICr S	PROM. x C	PROM. r C	LSCx C	LICx C	LSCr C	LICr C
1	0.551	0.0552	0.697	0.404	0.181	0	2.27	0.408	3.30	1.18	1.34	0
2	0.917	0.0942	1.17	0.667	0.308	0	1.71	0.125	2.04	1.34	0.409	0
3	0.238	0.0320	0.323	0.153	0.105	0	0.425	0.0434	0.540	0.310	0.142	0
MEDIA	0.509	0.079	1.28	-0.124	1.75	0	1.47	2.17	3.68	-0.743	5.58	0
4	0.160	0.0160	0.208	0.112	0.0587	0	0.224	0.0209	0.280	0.158	0.0653	0
5	0.147	0.0144	0.185	0.109	0.0471	0	0.225	0.0215	0.282	0.158	0.0702	0
6	0.187	0.0299	0.267	0.108	0.0977	0	0.308	0.0346	0.398	0.214	0.113	0
MEDIA	0.165	0.0876	0.254	0.076	0.225	0	0.252	0.180	0.416	0.0864	0.412	0
7	0.484	0.0387	0.597	0.381	0.127	0	0.680	0.0515	0.817	0.543	0.168	0
8	0.0169	0.00524	0.0308	0.00296	0.0171	0	0.0196	0.00554	0.0343	0.00486	0.0181	0
10	0.00254	0.000254	0.00322	0.00187	0.000831	0	0.00285	0.000302	0.00365	0.00205	0.000987	0
12	0.00225	0.000337	0.00314	0.00135	0.00110	0	0.00255	0.000401	0.00362	0.00148	0.00131	0
MEDIA	0.00723	0.0147	0.0222	-0.00775	0.0378	0	0.00833	0.0155	0.0241	-0.00748	0.0399	0
9	0.00308	0.00041	0.00415	0.00197	0.00134	0	0.00323	0.000439	0.00440	0.00206	0.00144	0
11	0.00209	0.00028	0.00283	0.00135	0.00092	0	0.00222	0.000304	0.00303	0.00141	0.00099	0
14	0.00284	0.00035	0.00357	0.00171	0.00114	0	0.00290	0.00038	0.00381	0.00179	0.00124	0
MEDIA	0.00260	0.00118	0.00380	0.00140	0.00303	0	0.00275	0.00124	0.00401	0.00149	0.00319	0
13	0.00247	0.00027	0.00319	0.00175	0.000888	0	0.00258	0.000296	0.00335	0.00177	0.000958	0

NOTA : CUALQUIER VALOR NEGATIVO DEBE CONSIDERARSE COMO CERO (0).

NOTA: S = SIN INTV. DEL EXTREMO C = CON INTV. DEL EXTREMO VALORES EN UNIDADES DE WL



2) Gráficar los resultados de cada prueba con sus límites para conocer cuántos puntos quedan fuera. Para realizar la comparación entre diferentes periodos de muestreo es necesario conocer el porciento de puntos que salen de los límites, esto se calcula de la manera siguiente:

$$\% \text{ de puntos fuera} = \frac{\text{Número de puntos fuera}}{\text{Horas muestreadas}} \times 100$$

Lugar A				
Prueba No.	Horas Muestreadas	Puntos		% Puntos Fuera
		Fuera	Fuera	
1	24	8		33.3
2	24	11		45.8
3	24	6		25.0
4	48	10		20.8
5	48	18		37.5
6	48	11		22.9
7	72	51		70.8

Promedio = 34.7  
Promedio = 27.1

Lugar B				
Prueba No.	Horas Muestreadas	Puntos		% Puntos Fuera
		Fuera	Fuera	
8	24	6		25.0
10	24	4		16.7
12	24	1		4.2
9	48	5		10.4
11	48	8		16.7
14	48	6		12.5
13	72	8		11.1

Promedio = 15.3  
Promedio = 13.2

El período óptimo de muestreo en A es 48h pero debido a que los resultados de A no son del todo satisfactorios, la decisión final se toma con lo reportado en B. En B el período óptimo de muestreo es 72h, pero como se desea realizar otras lecturas en más casas se toma como período óptimo de muestreo a 48h debido a que la variación en los % de puntos fuera es más pequeña.

Para 24h Máx.=25.0% Mín.= 4.2% Rango=20.8%  $\sigma_{n-1}=10.47$

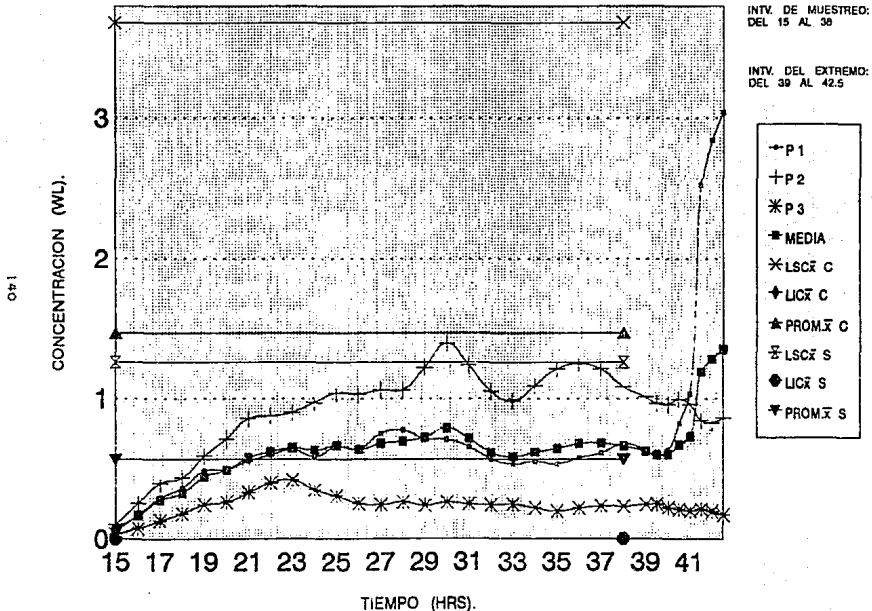
Para 48h Máx.=16.7% Mín.=10.4% Rango= 6.3%  $\sigma_{n-1}= 3.21$

En esta misma tabla se muestra los límites y promedios de medias y rangos que se calculan con y sin la contribución del extremo, esto se calcula en base a la media de las 3 lecturas de 24h y 48h tanto de A como de B.

La fig. 30 muestra los resultados de los intvs. de muestreo y del extremo de las pruebas de 24h en A, (P1, P2, P3 y la media de las 3 pruebas). La fig. 31 muestra los resultados de los intvs. de

FIG.30 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LAS PRUEBAS.

LOS DATOS GRAFICADOS SON LAS PRUEBAS DE 24 HRS EN EL LUGAR A.  
LOS LIMITES Y EL PROM.X SON CALCULADOS CON TODAS ESTAS PRUEBAS DE 24 HRS.





muestreo y del extremo de las pruebas de 48h en A, (P4, P5, P6 y la media de las 3 pruebas). La fig. 32 muestra los resultados de los intvs. de muestreo y del extremo de la prueba de 72h en A, (P7). La fig.33 muestra los resultados de los intvs. de muestreo y del extremo de las pruebas de 24h en B, (P8, P10, P12 y la media de las 3 pruebas). La fig.34 muestra los resultados de los intvs. de muestreo y del extremo de las pruebas de 48h en B, (P9, P11, P14 y la media de las 3 pruebas). La fig. 35 muestra los resultados de los intvs. de muestreo y del extremo de la prueba de 72h en B, (P13). Cabe aclarar que en la fig. 30, 31, 33 y 34 los límites y promedios ( $LSC\bar{x}$ ,  $LIC\bar{x}$  y  $Prom.\bar{x}$ ) se calculan con los datos de la media, estos límites y promedios se calculan con (C) y sin (B) la contribución del extremo empleando el gráfico de control  $\bar{x}$ -r. En la fig. 32 y 35 los límites de control y promedios ( $LSC\bar{x}$ ,  $LIC\bar{x}$  y  $Prom.\bar{x}$ ) se calculan con los datos de una sola prueba (P7 y P13 respectivamente); estos límites y promedios se calculan con (C) y sin (B) la contribución del extremo empleando el gráfico de control  $\bar{x}$ -r. En base a los datos graficados tenemos que en las pruebas de 24h en A, la contribución del extremo origina que el límite superior y el promedio (con el intv. del extremo) se separen en una cantidad muy grande del límite superior y el promedio (sin el intv. del extremo), por lo que todos los datos quedan abajo del promedio, lo que indica que estas lecturas no son confiables por presencia de alguna anomalía. En las pruebas de 48h en A la contribución del extremo no es tan grande como la de 24h, las lecturas del extremo van en aumento y en este período, la variación es más pequeña que la de 24h. En la prueba de 72h en A muchos de los datos quedan fuera de los límites por lo que este período, estadísticamente no es adecuado, ya que los límites están muy cerrados. En ambos casos fueron las lecturas tomadas en presencia de alguna anomalía ya que los datos del intv. del extremo no disminuyen conforme transcurre el tiempo. En cuanto a las pruebas en B, tenemos que en las pruebas de 24h la contribución del extremo no es muy grande, pero quedan varios puntos fuera de los límites y la variación entre datos es muy grande. En las pruebas de 48h, la contribución del extremo es pequeña y quedan varios puntos fuera de los límites, la ventaja de este período es la más pequeña variación que hay entre los datos.

FIG.32 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LAS PRUEBAS.

LOS DATOS GRAFICADOS ES LA PRUEBA DE 72 HRS EN EL LUGAR A.  
 LOS LIMITES Y EL PROMx SE CALCULAN CON LA PRUEBA DE 72 HRS.

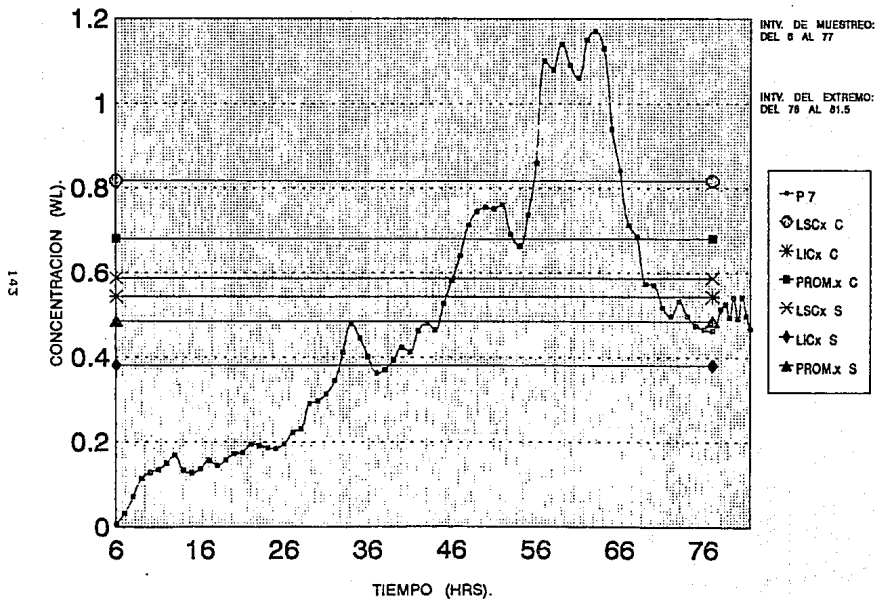
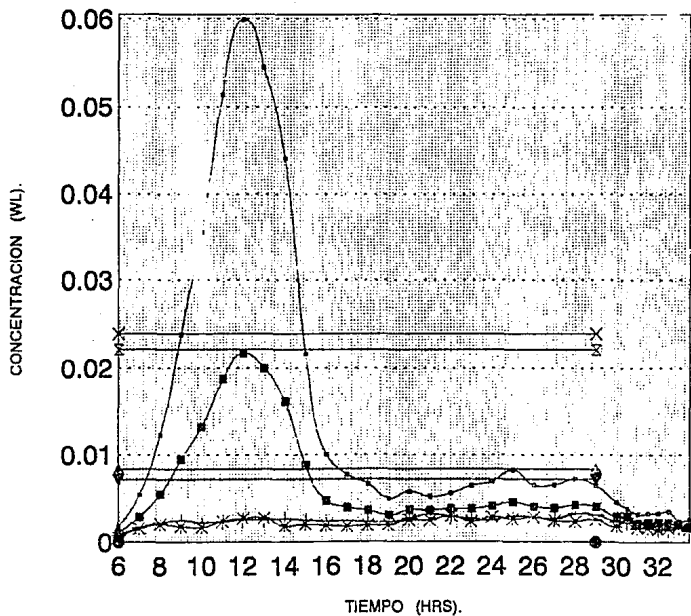


FIG.33 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LAS PRUEBAS.

LOS DATOS GRAFICADOS SON LAS PRUEBAS DE 24 HRS EN EL LUGAR B.  
LOS LÍMITES Y EL PROM. $\bar{x}$  SON CALCULADOS CON TODAS ESTAS PRUEBAS DE 24 HRS.



INTV. DE MUESTREO:  
DEL 6 AL 24

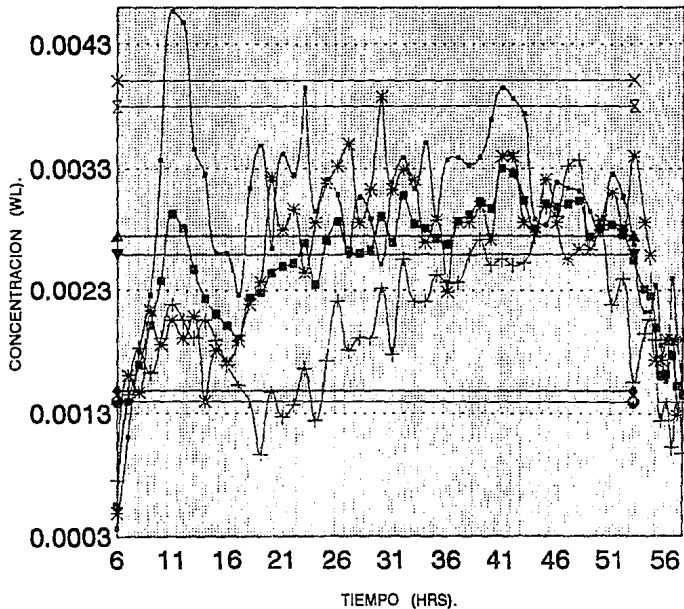
INTV. DEL EXTREMO:  
DEL 30 AL 33.5

- ← P 8
- ← P 10
- ← P 12
- MEDIA
- △ LICx C
- ◆ LICx S
- ☆ PROMx C
- ▽ LSCx S
- ◇ LICx S
- ▽ PROMx S

### FIG.34 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LAS PRUEBAS.

LOS DATOS GRAFICADOS SON LAS PRUEBAS DE 48 HRB EN EL LUGAR B.  
LOS LÍMITES Y EL PROM. SON CALCULADOS CON TODAS ESTAS PRUEBAS DE 48 HRB.

145



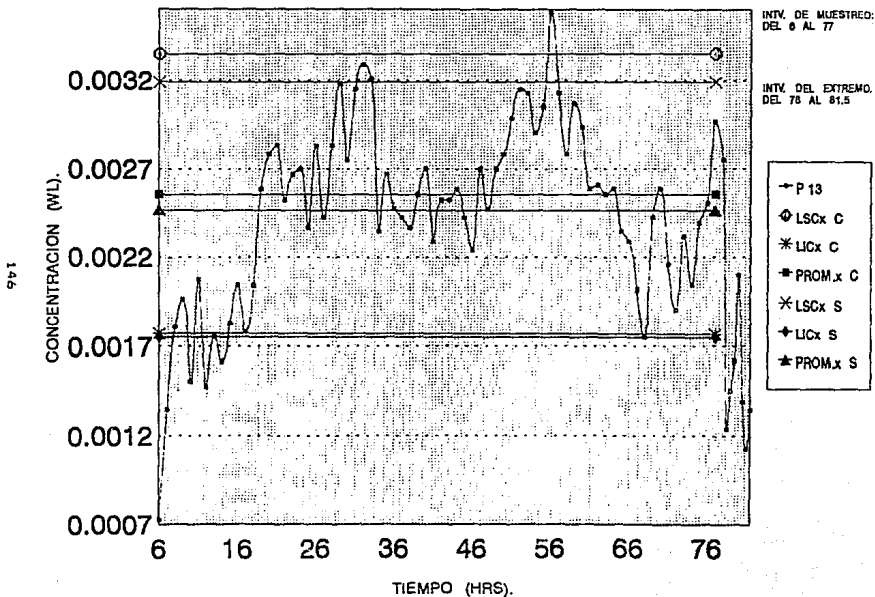
INTV. DE MUESTREO:  
DEL 6 AL 53

INTV. DEL EXTREMO:  
DEL 54 AL 57.5

- Pg
- + P 11
- \* P 14
- MEDIA
- \* LSC C
- ◆ LIC C
- ★ PROM C
- ⊗ LSC S
- ◆ LIC S
- ▼ PROM S

FIG.35 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LAS PRUEBAS.

LOS DATOS GRAFICADOS ES LA PRUEBA DE 72 HRB EN EL LUGAR B.  
 LOS LIMITES Y EL PROM.x SE CALCULAN CON LA PRUEBA DE 72 HRB.





En la prueba de 72h la contribución del extremo y la variación entre los datos es un poco más pequeña que la de 48h, lo que muestra que entre mayor sea el tiempo de lectura más pequeño es el % de variación pero con este sistema de medición y para optimizar el uso del equipo se decidió que el periodo de muestreo óptimo es 48h.

### 7.3) Muestreo.

La tabla 13 muestra los resultados de las medidas de investigación de cada una de las 25 casas monitoreadas: período de muestreo, WL promedio,  $\pm$  % de variación, % de torón, constante de calibración (cpm/WL) y el fondo (WL y cpm) que registra la WLM-1A antes de iniciar el muestreo. El período de muestreo fué del 11-SEP-92 al 16-DIC-92 (fin del verano y todo el otoño). Respecto al fondo el equipo reporta un dato como OWL (este se reporta como cero ya que el equipo tiene como límite inferior de detección (LLD)  $2 \times 10^{-5}$  WL), lo cual indica que se obtuvo un valor más pequeño que el LLD. Cabe aclarar que la muestra 16 se tomó en un sótano, las muestras 1 a 8, 10, 11, 13, 15, 17, 19 a 25 se tomaron en la planta baja y las muestras 9, 12, 14 y 18 en el ter piso. El % de variación siempre fué menor al 4.5%. Debido a que en las muestras 14, 15 y 22 a 25 el equipo reportó el % de torón como invalidado, se realizaron medidas de seguimiento para rectificar o corroborar las lecturas del WL promedio que estuvieron por arriba del nivel de no acción de EPA:  $150 \text{ Bq/m}^3$  de Radón ó  $75 \text{ Bq/m}^3$  de Radón Equivalente en Equilibrio (EER). Para realizar el análisis estadístico de los resultados, estos se dividen en dos grupos:

- a) El grupo 1 (G1) que incluye los resultados de las muestras en las cuales el % de torón es insignificante o tiene algún valor (medidas de investigación).
- b) El grupo 2 (G2) que incluye los resultados de las muestras en las cuales se hicieron medidas de seguimiento.

Las tablas 14 y 15 muestran los resultados de las muestras 12 y 13 respectivamente y ejemplifican como calcular los límites de control utilizando el gráfico de control x-r, cuando el % de torón es insignificante (muestra 12) y para el caso en el que el % de

**TABLA 13. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS.**  
 LAS HORAS MUESTREADAS EN CADA CASA HABITACION SON 48 HRS.

MUESTRA N°	PERIODO	WL. PROM.	+/- % DE VARIACION	% DE TORN	CTE. CAL. cpm/WL	FONDO WL. (cpm)
1	11-13BER.	0.00208	3.44	INSIGNIFICANTE	018	0.0000600 (0.0400)
2	15-17BER.	0.00267	2.80	INSIGNIFICANTE	018	0.0000530 (0.0335)
3	18-20BER.	0.00847	1.90	23	018	0.0000530 (0.0383)
4	21-23BER.	0.00283	2.87	INSIGNIFICANTE	018	0.000180 (0.117)
5	24-26BER.	0.00266	2.90	INSIGNIFICANTE	018	0.0000600 (0.0400)
6	27-29BER.	0.00370	2.51	INSIGNIFICANTE	018	0.0000530 (0.0335)
7	30-02OCT.	0.00600	1.67	14	018	0.0000530 (0.0335)
8	09-11OCT.	0.0137	1.54	14	018	0.000135 (0.0634)
9	12-14OCT.	0.00190	3.53	INSIGNIFICANTE	018	0.0000600 (0.0400)
10	15-17OCT.	0.00780	1.78	15	018	0.0000600 (0.0400)
11	18-20OCT.	0.00141	4.13	INSIGNIFICANTE	018	0.0000530 (0.0335)
12	21-23OCT.	0.00103	3.81	INSIGNIFICANTE	018	0.000106 (0.0607)
13	24-26OCT.	0.00097	2.07	01	018	0 (0)
14	27-29OCT.	0.322	0.30	INVALIDADO	018	0.000527 (0.202)
15	02-04NOV.	0.739	0.23	INVALIDADO	018	0.00216 (1.33)
16	05-10NOV.	0.0028	0.83	INSIGNIFICANTE	018	0.000062 (0.363)
17	11-18NOV.	0.0142	1.40	00	018	0.0000530 (0.0335)
18	14-16NOV.	0.00410	2.58	INSIGNIFICANTE	018	0.000027 (0.0107)
19	17-19NOV.	0.00524	1.70	INSIGNIFICANTE	018	0.000027 (0.0107)
20	20-22NOV.	0.0193	2.24	INSIGNIFICANTE	018	0.0000485 (0.0296)
21	23-25NOV.	0.0156	2.27	INSIGNIFICANTE	018	0.0000530 (0.0335)
22	26-28NOV.	0.450	0.26	INVALIDADO	018	0.00100 (0.964)
23	29-01DIC.	0.541	0.27	INVALIDADO	018	0.000022 (0.507)
24	06-10DIC.	0.56	0.06	INVALIDADO	018	0.157 (06.6)
25	14-16DIC.	0.02	0.00	INVALIDADO	018	0.0813 (37.7)

NOTA: TODAS SON MEDIDAS DE INVESTIGACION.

NOTA: EL MUESTREO INICIO A LAS 06:00 AM EN TODAS LAS MUESTRAS.

TABLA 14. CALCULO DE LOS LIMITES DE CONTROL PARA LA MUESTRA # 12.

PERIODO: OCT21 A OCT23.92 WL PROM.: 0.00163 + / - 3.81% % TORON: INSIGNIFICANTE

DATOS DEL INTV. DE MUESTREO

TIEMPO (HRS):	CONC. (WL):	RANGO:
05.00	0.00404	-----
07.00	0.00701	0.002297
08.00	0.00102	0.000319
09.00	0.00127	0.000225
10.00	0.00154	0.00027
11.00	0.00186	0.00032
12.00	0.00202	0.00018
13.00	0.00213	0.00011
14.00	0.00175	0.00035
15.00	0.00194	0.00019
16.00	0.00194	0
17.00	0.00210	0.00018
18.00	0.00226	0.00018
19.00	0.00158	0.0007
20.00	0.00187	0.00017
21.00	0.00148	0.00021
22.00	0.00124	0.00022
23.00	0.00119	0.00005
24.00	0.00121	0.00002
25.00	0.00124	0.00003
26.00	0.00113	0.00011
27.00	0.00105	0.00008
28.00	0.00102	0.00003
29.00	0.00151	0.00049
30.00	0.00121	0.00030
31.00	0.000970	0.00024
32.00	0.00181	0.00084
33.00	0.000970	0.00084
34.00	0.00194	0.00087
35.00	0.00186	0.00008
36.00	0.00124	0.00082
37.00	0.00228	0.00102
38.00	0.00140	0.00088
39.00	0.00213	0.00073
40.00	0.00253	0.00040
41.00	0.00183	0.00070
42.00	0.00202	0.00019
43.00	0.00154	0.00048
44.00	0.00189	0.00005
45.00	0.00182	0.00003
46.00	0.00210	0.00054
47.00	0.00154	0.00082
48.00	0.00124	0.0003
49.00	0.00175	0.00051
50.00	0.00154	0.00021
51.00	0.00140	0.00014
52.00	0.00148	0.00008
53.00	0.00111	0.00037

DATOS DEL INTV. DEL EXTREMO

TIEMPO (HRS):	CONC. (WL):	RANGO:
54.00	0.00148	-----
54.30	0.00148	0
55.00	0.00124	0.00022
55.30	0.000809	0.000431
56.00	0.000701	0.00108
56.30	0.000755	0.000054
57.00	0.000809	0.000054
57.30	0.000970	0.000181

DE LA TABLA DE FACTORES PARA DETERMINAR LOS LIMITES DE CONTROL 3-σ DE LOS GRAFICOS DE x y r A PARTIR DE PROM.r (Rv90).

n = 2  
 Axr = 2.66  
 Drs = 3.27  
 Dri = 0

NOTA:  
 LOS FACTORES SE BASAN EN  
 UNA DISTRIBUCION NORMAL.

LIMITE SUPERIOR DE CONTROL

$$LSCx = PROM.x + Axr (PROM.r)$$

$$LSCr = Drs (PROM.r)$$

LIMITE INFERIOR DE CONTROL

$$LICx = PROM.x - Axr (PROM.r)$$

$$LICr = Dri (PROM.r)$$

NOTA: S = SIN INTV. DEL EXTREMO  
 C = CON INTV. DEL EXTREMO

CALCULO DE LOS LIMITES PARA EL INTV. DE MUESTREO

$$\Sigma x = 0.074355 \quad \Sigma r = 0.015788$$

$$PROM.x S = 0.00155 \quad PROM.r S = 0.000336$$

$$\sigma n = 0.000443$$

$$\sigma n-1 = 0.000448$$

$$LSCx S = 0.00155 + 2.66 (0.000336) = 0.00244$$

$$LICx S = 0.00155 - 2.66 (0.000336) = 0.000855$$

$$LSCr S = 3.27 (0.000336) = 0.00110$$

$$LICr S = 0 (0.000336) = 0$$

CALCULO DE LOS LIMITES CON LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO

PARA EL INTV. DEL EXTREMO

$$\Sigma x = 0.00820 \quad \Sigma r = 0.00103$$

$$\Sigma x / 98 = 0.000085 \quad \Sigma r / 98 = 0.000011$$

$$+ PROM.x S (0.00155) \quad + PROM.r S (0.000336)$$

$$= PROM.x C = 0.00183 \quad = PROM.r C = 0.000347$$

$$LSCx C = 0.00183 + 2.66 (0.000347) = 0.00258$$

$$LICx C = 0.00183 - 2.66 (0.000347) = 0.000711$$

$$LSCr C = 3.27 (0.000347) = 0.00113$$

$$LICr C = 0 (0.000347) = 0$$

TABLA 15. CALCULO DE LOS LIMITES DE CONTROL PARA LA MUESTRA # 13.

PERIODO: OCT.24 A OCT.26,92 WL PROM.: 0.00097 + / - 2.07% % TORON: 61

DATOS DEL INTV. DE MUESTREO

TIEMPO (HRS):	CONC. (WL):	RANGO:
06.00	0.00119	-----
07.00	0.00251	0.00132
08.00	0.00161	0.00070
09.00	0.00187	0.00018
10.00	0.00235	0.00038
11.00	0.00135	0.00100
12.00	0.00176	0.00043
13.00	0.00261	0.00063
14.00	0.00297	0.00036
15.00	0.00420	0.00123
16.00	0.00571	0.00151
17.00	0.00525	0.00043
18.00	0.00467	0.00121
19.00	0.00550	0.00143
20.00	0.00596	0.00046
21.00	0.00442	0.00154
22.00	0.00617	0.00175
23.00	0.00563	0.00054
24.00	0.00704	0.00141
25.00	0.00562	0.00122
26.00	0.00577	0.00005
27.00	0.00461	0.00118
28.00	0.00509	0.00048
29.00	0.00536	0.00027
30.00	0.00571	0.00335
31.00	0.00509	0.00065
32.00	0.00765	0.00041
33.00	0.00768	0.00003
34.00	0.00590	0.00178
35.00	0.00733	0.00142
36.00	0.00696	0.00036
37.00	0.00779	0.00081
38.00	0.00539	0.00240
39.00	0.00528	0.00113
40.00	0.00456	0.00070
41.00	0.00493	0.00037
42.00	0.00442	0.00051
43.00	0.00477	0.00035
44.00	0.00495	0.00029
45.00	0.00825	0.00132
46.00	0.00839	0.00056
47.00	0.00523	0.00170
48.00	0.00560	0.00027
49.00	0.00633	0.00083
50.00	0.00717	0.00084
51.00	0.00735	0.00019
52.00	0.00642	0.00094
53.00	0.00682	0.00040

DATOS DEL INTV. DEL EXTREMO

TIEMPO (HRS):	CONC. (WL):	RANGO:
54.00	0.00620	-----
54.30	0.00620	0
55.00	0.00428	0.00194
55.30	0.00420	0.00006
56.00	0.00350	0.00070
56.30	0.00345	0.00005
57.00	0.00270	0.00075
57.30	0.00367	0.00097

DE LA TABLA DE FACTORES PARA DETERMINAR LOS LIMITES DE CONTROL 3 -  $\sigma$  DE LOS GRAFICOS DE X Y r A PARTIR DE PROM.<sub>r</sub> (Rv90).

n = 2  
 A<sub>xr</sub> = 2.66  
 D<sub>rs</sub> = 3.27  
 D<sub>rl</sub> = 0

NOTA:  
 LOS FACTORES SE BASAN EN UNA DISTRIBUCION NORMAL.

LIMITE SUPERIOR DE CONTROL  
 LSC<sub>x</sub> = PROM.<sub>x</sub> + A<sub>xr</sub> (PROM.<sub>r</sub>)  
 LSC<sub>r</sub> = D<sub>rs</sub> (PROM.<sub>r</sub>)

LIMITE INFERIOR DE CONTROL  
 LIC<sub>x</sub> = PROM.<sub>x</sub> - A<sub>xr</sub> (PROM.<sub>r</sub>)  
 LIC<sub>r</sub> = D<sub>rl</sub> (PROM.<sub>r</sub>)

NOTA: S = SIN INTV. DEL EXTREMO  
 C = CON INTV. DEL EXTREMO

CALCULO DE LOS LIMITES PARA EL INTV. DE MUESTREO

$$\sum x = 0.251600 \quad \sum r = 0.040770$$

$$PROM.x S = 0.00524 \quad PROM.r S = 0.000867$$

$$\sigma n = 0.001871$$

$$\sigma n-1 = 0.001891$$

$$LSCx S = 0.00524 + 2.66 (0.000867) = 0.00755$$

$$LICx S = 0.00524 - 2.66 (0.000867) = 0.00284$$

$$LSCr S = 3.27 (0.000867) = 0.00284$$

$$LICr S = 0 (0.000867) = 0$$

CALCULO DE LOS LIMITES CON LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO

PARA EL INTV. DEL EXTREMO

$$\sum x = 0.03418 \quad \sum r = 0.00447$$

$$\sum x * D = 0.001728 \quad \sum r * D = 0.000226$$

$$+ PROM.x S (0.00524) \quad + PROM.r S (0.000867)$$

$$= PROM.x C = 0.00697 \quad = PROM.r C = 0.001093$$

$$D = B/48 \quad B = 2.426682$$

$$LSCx C = 0.00697 + 2.66 (0.001093) = 0.00988$$

$$LICx C = 0.00697 - 2.66 (0.001093) = 0.00406$$

$$LSCr C = 3.27 (0.001093) = 0.00357$$

$$LICr C = 0 (0.001093) = 0$$

torón tiene algún valor como es el caso de la muestra 13 donde es 61%, al emplear este gráfico  $x$  representa la concentración y  $r$  la diferencia de concentración.

La tabla 16 muestra los límites de control y los promedios para los datos y rangos de cada una de las muestras del grupo 1 (medidas de investigación). Estos se calcularon con (C) y sin (S) la contribución del extremo. Los límites de control y los promedios se calcularon utilizando el gráfico de control  $x-r$  con una línea central  $\bar{x}$  y  $\bar{r}$ ; estos límites establecen la variación máxima y mínima que estadísticamente se obtienen en la concentración y en la variación de concentración horaria. Como se puede ver las muestras 16, 20 y 21 son las únicas en las cuales se estima una concentración mayor de 0.02WL. La muestra 16 se toma en un sótano por lo cual se recomienda ventilarlo para minimizar la concentración. En las muestras 20 y 21 se estima como límite superior una concentración de 0.0266WL y 0.0224WL, como estos valores se obtienen en condiciones de casa cerrada se minimizan ventilando la casa.

La tabla 17 ejemplifica como calcular los límites de control para las 19 muestras que forman el G1. Se especifica el WL promedio, el  $\pm$  % de variación y el % de torón para este grupo. Los límites se calcularon con las muestras 1 a 13 y 16 a 21. La secuencia para el cálculo es la siguiente:

- 1) Utilizar el gráfico de control  $x-r$  (media - rango), donde la línea central es  $\bar{x}$  (media de los promedios de  $x$ ) y  $\bar{r}$ .
- 2) Obtener la media por hora con los datos del intv. de muestreo de las muestras del G1.

$$\begin{aligned} \text{Media a las 06:00} &= \frac{\sum \text{datos de las muestras a las 06:00}}{\text{Número de muestras del G1}} \\ \text{Media a las 07:00} &= \frac{\sum \text{datos de las muestras a las 07:00}}{\text{Número de muestras del G1}} \\ &\vdots \\ \text{Media a las 22:00} &= \frac{\sum \text{datos de las muestras a las 22:00}}{\text{Número de muestras del G1}} \end{aligned}$$

# TABLA 16. LIMITES DE CONTROL PARA LAS MUESTRAS (GRUPO 1).

LSC = LIMITE SUPERIOR DE CONTROL LIC = LIMITE INFERIOR DE CONTROL x = DATOS r = RANGO

MUESTRA N°	PROM. x S	PROM. r S	LSCx S	LICx S	LSCr S	LICr S	PROM. x C	PROM. r C	LSCx C	LICx C	LSCr C	LICr C
1	0.00190	0.000318	0.00275	0.00105	0.00104	0	0.00200	0.000333	0.00295	0.00117	0.00109	0
2	0.00253	0.000276	0.00328	0.00179	0.000903	0	0.00267	0.000305	0.00348	0.00188	0.000997	0
3	0.00367	0.000228	0.00834	0.00340	0.00304	0	0.00847	0.00112	0.00945	0.00348	0.00385	0
4	0.00273	0.000358	0.00376	0.00189	0.00127	0	0.00283	0.000415	0.00394	0.00173	0.00138	0
5	0.00267	0.000512	0.00403	0.00131	0.00167	0	0.00288	0.000538	0.00420	0.00143	0.00175	0
6	0.00357	0.000401	0.00463	0.00250	0.00131	0	0.00379	0.000445	0.00497	0.00281	0.00145	0
7	0.00803	0.000598	0.00982	0.00843	0.00188	0	0.00889	0.000741	0.0107	0.00872	0.00242	0
8	0.0124	0.00204	0.0178	0.00703	0.00668	0	0.0137	0.00238	0.0200	0.00741	0.00773	0
9	0.00180	0.000313	0.00283	0.00097	0.00102	0	0.00190	0.000337	0.00280	0.00100	0.00110	0
10	0.00708	0.000891	0.00945	0.00471	0.00201	0	0.00760	0.00108	0.0108	0.00498	0.00349	0
11	0.00132	0.000216	0.00180	0.00074	0.00071	0	0.00141	0.000238	0.00204	0.00078	0.00077	0
12	0.00155	0.000358	0.00244	0.00088	0.00110	0	0.00163	0.000347	0.00236	0.00071	0.00114	0
13	0.00524	0.000867	0.00755	0.00294	0.00284	0	0.00697	0.00109	0.00988	0.00408	0.00357	0
16	0.0326	0.00707	0.0314	0.0138	0.0231	0	0.0328	0.00708	0.0316	0.0140	0.0232	0
17	0.0102	0.000801	0.0118	0.00856	0.00197	0	0.0142	0.00103	0.0189	0.0118	0.00336	0
18	0.00337	0.000447	0.00318	0.00278	0.00148	0	0.00418	0.000471	0.00541	0.00291	0.00154	0
19	0.00502	0.00126	0.00842	0.00182	0.00419	0	0.00524	0.00132	0.00875	0.00173	0.00432	0
20	0.0187	0.00270	0.0259	0.0118	0.00853	0	0.0193	0.00275	0.0268	0.0120	0.00899	0
21	0.0140	0.00235	0.0208	0.00778	0.00768	0	0.0158	0.00258	0.0224	0.00879	0.00837	0

NOTA: S = SIN INTV. DEL EXTREMO C = CON INTV. DEL EXTREMO VALORES EN UNIDADES DE WL.

TABLA 17. CALCULO DE LOS LIMITES DE CONTROL PARA LAS MUESTRAS DEL GRUPO # 1.

WL PROM.: 0.00811

+ / - 2.43%

% TORON: 10

DATOS DEL INTV. DE MUESTREO

TIEMPO (HRB):	MEDIA (WL):	RANGO:
06.00	0.00165	0.006704
07.00	0.00397	0.021861
08.00	0.00590	0.054445
09.00	0.00734	0.051115
10.00	0.00650	0.052009
11.00	0.00664	0.056072
12.00	0.00608	0.059316
13.00	0.00708	0.056828
14.00	0.00682	0.045699
15.00	0.00712	0.048745
16.00	0.00674	0.043784
17.00	0.00693	0.04185
18.00	0.00690	0.04268
19.00	0.00657	0.03723
20.00	0.00659	0.03913
21.00	0.00637	0.036109
22.00	0.00707	0.04255
23.00	0.00713	0.04251
24.00	0.00716	0.050464
25.00	0.00719	0.05281
26.00	0.00754	0.02617
27.00	0.00900	0.05295
28.00	0.00970	0.05928
29.00	0.00849	0.04707
30.00	0.00784	0.03387
31.00	0.00787	0.02863
32.00	0.00682	0.04262
33.00	0.00922	0.05393
34.00	0.00684	0.05075
35.00	0.00827	0.04094
36.00	0.00867	0.04428
37.00	0.00870	0.04254
38.00	0.00857	0.03193
39.00	0.00760	0.03215
40.00	0.00815	0.04027
41.00	0.00857	0.04037
42.00	0.00907	0.03927
43.00	0.00864	0.03895
44.00	0.00865	0.04361
45.00	0.00825	0.04458
46.00	0.00819	0.03662
47.00	0.00763	0.03468
48.00	0.00998	0.05066
49.00	0.00721	0.02988
50.00	0.00893	0.02885
51.00	0.00883	0.0226
52.00	0.00711	0.02202
53.00	0.00854	0.01809

DATOS DEL INTV. DEL EXTREMO

TIEMPO (HRB):	MEDIA (WL):	RANGO:
54.00	0.00819	0.02704
54.30	0.00533	0.02494
55.00	0.00448	0.024899
55.30	0.00385	0.018099
56.00	0.00325	0.018199
56.30	0.00281	0.011045
57.00	0.00270	0.012161
57.30	0.00282	0.009669

DE LA TABLA DE FACTORES PARA DETERMINAR LOS LIMITES DE CONTROL  $\bar{x}$  -  $\sigma$  DE LOS GRAFICOS DE  $\bar{x}$  Y  $r$  A PARTIR DE PROM. $_x$  (Gr87).

$n = 19$

$A\bar{x}r = 0.19$

$Drs = 1.80$

$Drl = 0.40$

NOTA:

LOS FACTORES SE BASAN EN UNA DISTRIBUCION NORMAL.

LIMITE SUPERIOR DE CONTROL

$$LSC\bar{x} = PROM.\bar{x} + A\bar{x}r (PROM.r)$$

$$LSCr = Drs (PROM.r)$$

LIMITE INFERIOR DE CONTROL

$$LIC\bar{x} = PROM.\bar{x} - A\bar{x}r (PROM.r)$$

$$LICr = Drl (PROM.r)$$

NOTA: S = SIN INTV. DEL EXTREMO

C = CON INTV. DEL EXTREMO

CALCULO DE LOS LIMITES PARA EL INTV. DE MUESTREO

$$\Sigma \bar{x} = 0.35672$$

$$\Sigma r = 1.959881$$

$$PROM.\bar{x} S = 0.00743$$

$$PROM.r S = 0.104083$$

$$\sigma n = 0.00134$$

$$\sigma n-1 = 0.00135$$

$$LSC\bar{x} S = 0.00743 + 0.19 (0.104083) = 0.0152$$

$$LIC\bar{x} S = 0.00743 - 0.19 (0.104083) = -0.00033$$

$$LSCr S = 1.80 (0.104083) = 0.1873$$

$$LICr S = 0.40 (0.104083) = 0.0416$$

CALCULO DE LOS LIMITES CON LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO

PARA EL INTV. DEL EXTREMO

$$\Sigma \bar{x} = 0.03101$$

$$\Sigma r = 0.143452$$

$$\Sigma \bar{x} * D = 0.00068$$

$$\Sigma r * D = 0.0031456$$

$$+ PROM.\bar{x} S (0.00743)$$

$$+ PROM.r S (0.104083)$$

$$= PROM.\bar{x} C = 0.00811$$

$$= PROM.r C = 0.04398$$

$$D = B/48$$

$$B = 1.0525637$$

$$LSC\bar{x} C = 0.00811 + 0.19 (0.04398) = 0.0165$$

$$LIC\bar{x} C = 0.00811 - 0.19 (0.04398) = -0.00025$$

$$LSCr C = 1.80 (0.04398) = 0.0791$$

$$LICr C = 0.40 (0.04398) = 0.0176$$

3) Obtener el rango por hora con los datos del intv. de muestreo de las muestras del G1.

Rango a las 06:00 = val. máx. - val. mín. de muestras a las 06:00

Rango a las 07:00 = val. máx. - val. mín. de muestras a las 07:00

⋮

Rango a las 53:00 = val. máx. - val. mín. de muestras a las 53:00

4) Obtener la sumatoria de las medias del intv. de muestreo que se calcularon ( $\Sigma \bar{x}$ ) y su promedio ( $\bar{\bar{x}}$  o Prom.  $\bar{x}$  S).

5) Obtener la sumatoria de los rangos del intv. de muestreo que se calcularon ( $\Sigma r$ ) y su promedio ( $\bar{r}$  S o Prom.  $r$  S).

6) Calcular los límites de control sin incluir al intv. del extremo (S).

$$LBC\bar{x} S = \text{Prom. } \bar{x} S + A\bar{x}r \text{ (Prom. } r S)$$

$$LIC\bar{x} S = \text{Prom. } \bar{x} S - A\bar{x}r \text{ (Prom. } r S)$$

$$LBCr S = D_{rs} \text{ (Prom. } r S)$$

$$LICr S = D_{ri} \text{ (Prom. } r S)$$

El valor de las constantes a 3 $\sigma$  para este gráfico son:

Para  $n = 19$ ,  $A\bar{x}r = 0.19$ ,  $D_{rs} = 1.60$ ,  $D_{ri} = 0.40$ . (GrB7)

Con los datos del intv. del extremo se realiza lo siguiente:

7) Obtener la media cada 30 min con los datos del intv. del extremo de las muestras del G1.

$$\text{Media a las 54:00} = \frac{\Sigma \text{ datos de las muestras a las 54:00}}{\text{Número de muestras del G1}}$$

$$\text{Media a las 54:30} = \frac{\Sigma \text{ datos de las muestras a las 54:30}}{\text{Número de muestras del G1}}$$

⋮

$$\text{Media a las 57:30} = \frac{\Sigma \text{ datos de las muestras a las 57:30}}{\text{Número de muestras del G1}}$$

8) Obtener el rango cada 30 min con los datos del intv. del extremo de las muestras del G1.

Rango a las 54:00 = val. máx. - val. mín. de muestras a las 54:00

Rango a las 54:30 = val. máx. - val. mín. de muestras a las 54:30

⋮

Rango a las 57:30 = val. máx. - val. mín. de muestras a las 57:30

9) Obtener la sumatoria de las medias del intv. del extremo (calculadas)  $\Sigma \bar{x}$  y la sumatoria de los rangos del intv. del extremo (calculados)  $\Sigma r$ .

10) Obtener el factor D (se emplea en el siguiente paso).



$$\text{Factor D} = B/4B \quad \text{y} \quad B = ((\bar{x}C - \bar{x}S) * 4B) / \Sigma x$$

Donde:

$\bar{x}C$  = Promedio que se obtiene con los WL promedio de cada una de las muestras que forman el G1 (el WL promedio que reporta el equipo incluye la contribución del extremo).

$\bar{x}S$  = Promedio obtenido en el paso 4.

$\Sigma x$  = Sumatoria de medias (obtenida en el paso 9).

11) Multiplicar la sumatoria de las medias del intv. del extremo ( $\Sigma x$ ) por el factor D y sumar este resultado al promedio obtenido (paso 4) para obtener el promedio de las medias que incluye ya al intv. del extremo (Prom.  $\bar{x}C$ ).

Prom.  $\bar{x}C$  = Promedio final de medias del grupo 1.

12) Multiplicar la sumatoria de los rangos del intv. del extremo ( $\Sigma r$ ) por el factor D y sumar este resultado al promedio obtenido (paso 5) para obtener el promedio de los rangos que incluye ya al intv. del extremo (Prom.  $rC$ ).

Prom.  $rC$  = Promedio final de rangos del grupo 1.

13) Calcular los límites de control que ya incluyen al intv. del extremo.

$$LSC\bar{x}C = \text{Prom.}\bar{x}C + A\bar{x}r \text{ (Prom.}rC\text{)}$$

$$LIC\bar{x}C = \text{Prom.}\bar{x}C - A\bar{x}r \text{ (Prom.}rC\text{)}$$

$$LSCrC = Drs \text{ (Prom.}rC\text{)}$$

$$LICrC = Dri \text{ (Prom.}rC\text{)}$$

Estos límites señalan la variación máxima y mínima que estadísticamente se obtiene a partir de todas las lecturas que se tomaron en las muestras del G1, estos límites son tanto para las medias como para los rangos.

Las fig. 36 a 39 muestran los resultados de los intv. de muestreo (cada hora) y del extremo (cada 30 min) de cada una de las muestras del G1; además muestran los límites de control y promedios que se obtienen con la media de las muestras del G1 tanto con la contribución del extremo (C) y sin la contribución del extremo (S). La fig. 36 incluye las muestras 1, 2, 3, 4 y 5; la fig. 37 incluye las muestras 6, 7, 8, 9 y 10; la fig. 38 incluye las muestras 11, 12, 13, 16 y 17 y en la fig. 39 las muestras 18, 19, 20 y 21. La diferencia que existe entre los límites de control y los promedios sin la contribución del extremo

FIG.36 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LAS MUESTRAS.

LOS DATOS GRAFICADOS SON LAS MUESTRAS (1 A 5) DEL GRUPO 1.  
 LOS LIMITES Y EL PROM. $\bar{x}$  SON CALCULADOS CON TODAS LAS MUESTRAS DEL GRUPO 1.

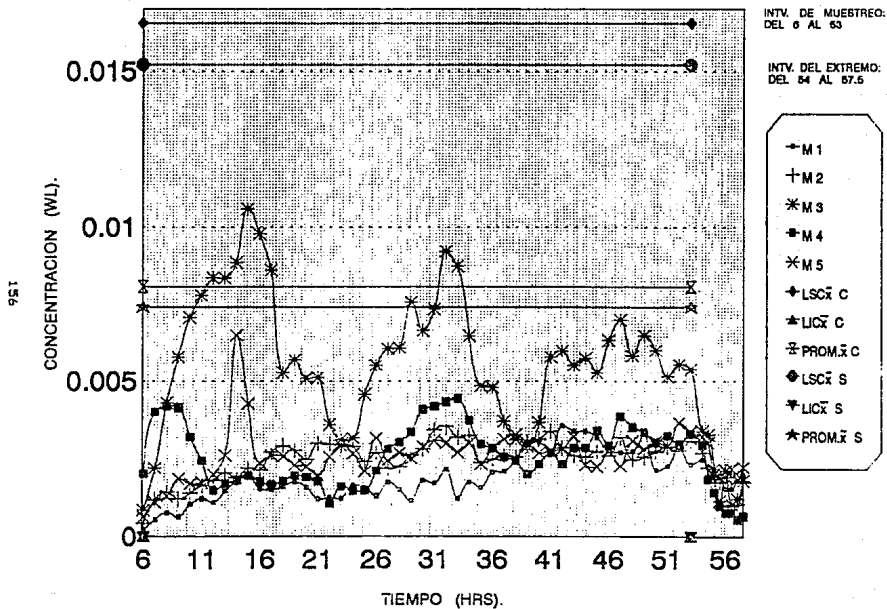


FIG.37 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LAS MUESTRAS.

LOS DATOS GRAFICADOS SON LAS MUESTRAS (6 A 10) DEL GRUPO 1.  
 LOS LIMITES Y EL PROM. $\bar{x}$  SON CALCULADOS CON TODAS LAS MUESTRAS DEL GRUPO 1.

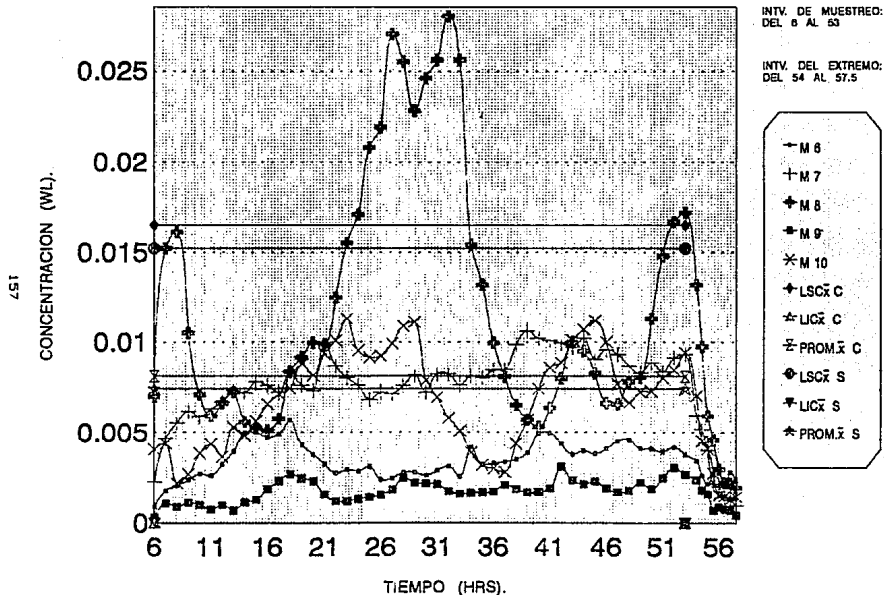


FIG.38 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LAS MUESTRAS.

LOS DATOS GRAFICADOS SON LAS MUESTRAS (11 A 13, 16 Y 17) DEL GRUPO 1.  
 LOS LIMITES Y EL PROM. $\bar{x}$  SON CALCULADOS CON TODAS LAS MUESTRAS DEL GRUPO 1.

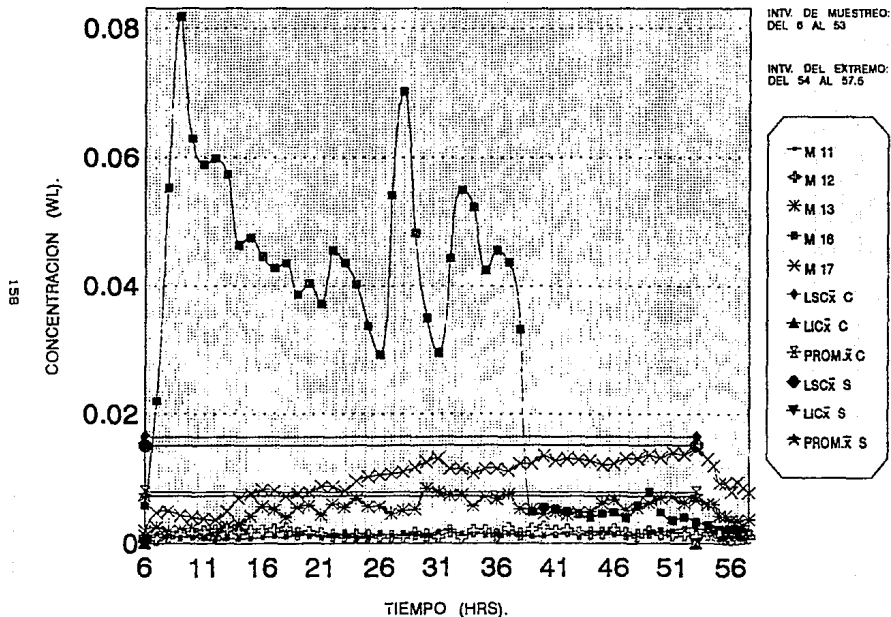
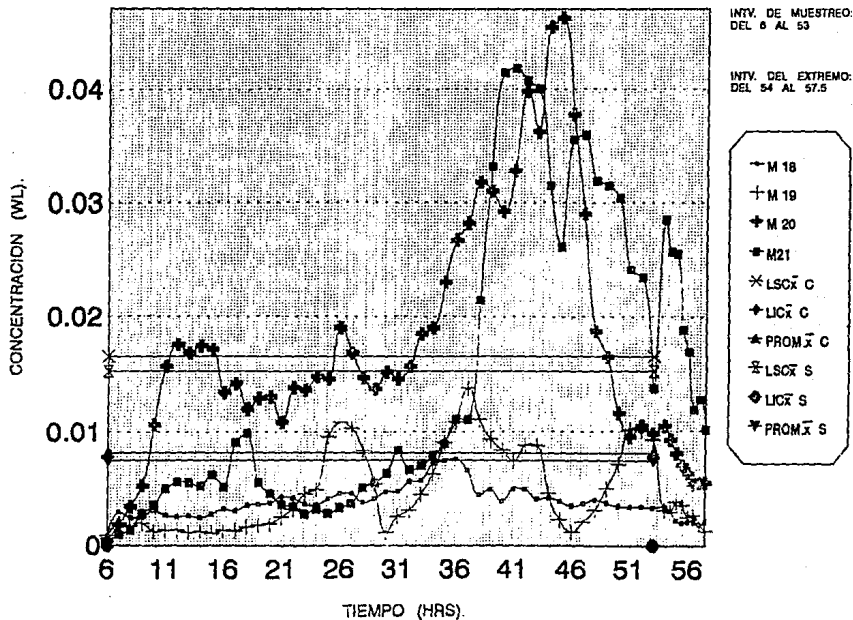


FIG.39 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LAS MUESTRAS.

LOS DATOS GRAFICADOS SON LAS MUESTRAS (16 A 21) DEL GRUPO 1.  
 LOS LIMITES Y EL PROM. $\bar{x}$  SON CALCULADOS CON TODAS LAS MUESTRAS DEL GRUPO 1.

651



(S) y aquellos en los que se considera la contribución del extremo (C) es pequeña debido a que el extremo contribuye con una cantidad muy pequeña (0,00068WL).

$LSC\bar{C} = 0.0165WL$      $LIC\bar{C} = -0.00025WL$      $Prom.\bar{C} = 0.00811WL$   
 $LSC\bar{S} = 0.0152WL$      $LIC\bar{S} = -0.00033WL$      $Prom.\bar{S} = 0.00743WL$   
 $Difer. = 0.0013WL$      $Difer. = 0.00008WL$      $Diferen. = 0.00068WL$

Como se puede observar la gran mayoría de los puntos quedan dentro de los límites, salvo algunos que señalan algún cambio en las condiciones del ambiente durante la toma de lecturas. A continuación se indican cuántos puntos quedan fuera y en que muestra.

Muestra	Sin intv. del extremo		Con intv. del extremo	
	Puntos fuera	N de puntos	Puntos fuera	N de puntos
8	15	31.25	12	25.00
16	32	66.67	32	66.67
20	25	52.08	22	45.83
24	15	31.25	15	31.25
Total	87	9.54	81	8.88

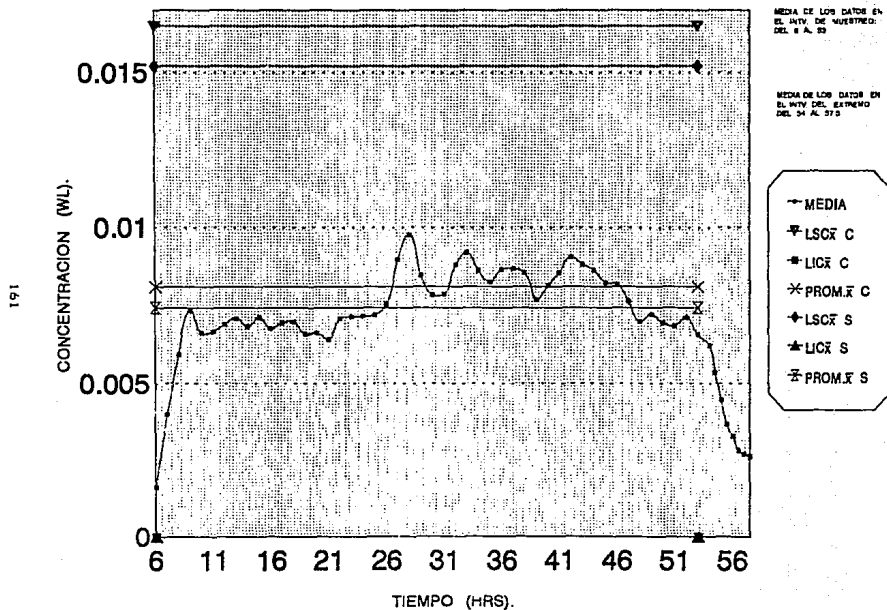
Si se toma como límite superior 0.02 WL quedan en total de todas las muestras del grupo 1 (9 + 32 + 13 + 15) 69 puntos fuera o sea 7.57% de los datos. Si no se toma en cuenta al intv. del extremo quedan 87 puntos fuera (todas las muestras del grupo 1) de los límites lo cual representa el 9.54% de los datos; si se considera al intv. del extremo quedan 81 puntos fuera (todas las muestras del grupo 1) de los límites lo cual representa el 8.88% de los datos.

La fig. 40 muestra la gráfica de las medias obtenidas con las muestras del G1. Se grafican las medias cada hora en el intv. de muestreo y cada 30 min en el intv. del extremo, además se señalan los límites de control y promedios que se obtienen con (C) y sin (S) la contribución del extremo. Todas las medias están alrededor del promedio de las medias (enlazamiento) y ninguna se sale de los límites estadísticos. De acuerdo con esto la variación (obtenida estadísticamente) considerando al intv. del extremo para este grupo es:

Promedio de medias = 0.00811 WL  
 Límite superior = 0.0165 WL  
 Límite inferior = -0.00025 WL (se considera cero).

FIG.40 MEDIAS DE LOS DATOS DE LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO PARA EL GRUPO 1.

MEDIA DE LOS DATOS DEL MUESTREO CADA HORA Y DEL EXTREMO CADA 30 MIN.  
LOS LÍMITES Y EL PROM. X SON CALCULADOS CON TODAS LAS MUESTRAS DEL GRUPO 1.



Las medias en el intv. del extremo van disminuyendo conforme va transcurriendo el tiempo y el análisis de este grupo predice que la máxima concentración a esperarse es 0.0165WL (si no se presenta alguna variación ambiental).

La fig. 41 muestra la gráfica de los rangos (r) obtenidos para las muestras del G1. Se grafican los rangos del intv. de muestreo (cada hora) y del intv. del extremo (cada 30 min) y se especifican los límites de control y promedios con y sin la contribución del extremo. Los límites de variación (obtenidos estadísticamente) con la contribución del extremo son:

Promedio de rango = 0.0440 WL

Límite superior = 0.0704 WL

Límite inferior = 0.0176 WL

Como se puede observar solo dos puntos se salen de estos límites, el primero es a las 06:00, esto se explica debido a que las lecturas a esta hora varían muy poco por lo que la diferencia entre el valor máximo y el mínimo es pequeña; el segundo punto que sale es el de las 09:00 (a esta hora se encontró en todas las muestras la concentración más alta) para las muestras del G1 y además esta lectura en particular corresponde a la muestra 16 (sótano). Por lo que respecta a las demás lecturas, nos indican que hay una variación grande debido a que se tiene a la misma hora diferentes concentraciones.

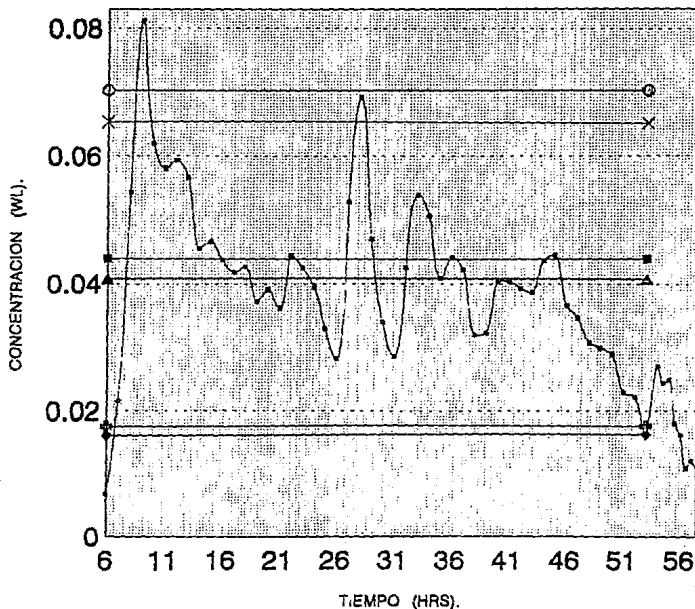
La tabla 18 muestra los resultados de las medidas de seguimiento (24h) de las muestras 14, 15, 22, 23, 24 y 25 (cuyas medidas de investigación reportaron valores altos) y que integran el G2. Los resultados obtenidos en estas medidas de seguimiento sirven para confirmar o rechazar los valores de las medidas de investigación. Se reportan: período de muestreo, WL promedio,  $\pm$  % de variación, % de torón, constante de calibración (cpm/WL) y el fondo (WL y cpm). El período de muestreo fué del 3-AGO-93 al 14-AGO-93 (mitad del verano). Las medidas se tomaron hasta ésta fecha debido a que al equipo se le cambió el detector y además se realizaron muestreos en otra zona; cabe aclarar que las medidas se realizaron en el mismo lugar y en las mismas condiciones experimentales que las medidas de investigación. El % de variación



FIG.41 RANGOS DE LOS DATOS DE LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO PARA EL GRUPO 1.

RANGOS DE LOS DATOS DEL MUESTREO CADA HORA Y DEL EXTREMO CADA 30 MIN.  
 LOS LÍMITES Y EL PROM. SON CALCULADOS CON TODAS LAS MUESTRAS DEL GRUPO 1.

Σ 91



RANGOS DE LOS DATOS EN  
 EL INTV. DE MUESTREO  
 DEL 6 AL 56

RANGOS DE LOS DATOS EN  
 EL INTV. DEL EXTREMO  
 DEL 30 AL 90

- RANGO
- LSCr C
- ◆ LICr C
- PROM.r C
- \* LSCr S
- ◆ LICr S
- ★ PROM.r S

**TABLA 18. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS DE SEGUIMIENTO (GRUPO 2, G2).**  
 LAS HORAS MUESTREADAS EN CADA CASA HABITACION SON 24 HRS.

MUESTRA N°	PERIODO	WL PROM.	+/- % DE VARIACION	% DE TORON	CTE. CAL cpm/WL	FONDO WL (cpm)
14	11-12AGO.93	0.00122	6.79	INSIGNIFICANTE	565	0.0000590 (0.0333)
15	09-10AGO.93	0.00274	4.37	INSIGNIFICANTE	565	0.0000295 (0.0167)
22	03-04AGO.93	0.00279	4.53	INSIGNIFICANTE	565	0.0000590 (0.0333)
23	13-14AGO.93	0.00141	6.34	INSIGNIFICANTE	565	0.0000590 (0.0333)
24	05-06AGO.93	0.00132	6.60	INSIGNIFICANTE	565	0.0000590 (0.0333)
25	07-08AGO.93	0.00248	4.72	INSIGNIFICANTE	565	0.0000295 (0.0167)

NOTA: EL MUESTREO INICIO A LAS 08:00 AM EN TODAS LAS MEDIDAS DE SEGUIMIENTO.

164

**TABLA 19. LIMITES DE CONTROL PARA LAS MEDIDAS DE SEGUIMIENTO (GRUPO 2).**  
 LSC = LIMITE SUPERIOR DE CONTROL LIC = LIMITE INFERIOR DE CONTROL x = DATOS r = RANGO

MUESTRA N°	PROM. x S	PROM. r S	LSCx S	LICx S	LSCr S	LICr S	PROM. x C	PROM. r C	LSCx C	LICx C	LSCr C	LICr C
14	0.00107	0.000276	0.00180	0.000388	0.000908	0	0.00122	0.000629	0.00210	0.000846	0.00108	0
15	0.00258	0.000391	0.00862	0.00154	0.00128	0	0.00274	0.000444	0.00592	0.00156	0.00145	0
22	0.00240	0.00028	0.00326	0.00154	0.00108	0	0.00279	0.000384	0.00881	0.00177	0.00126	0
23	0.00122	0.000292	0.00178	0.000886	0.000861	0	0.00141	0.000298	0.00208	0.000774	0.000782	0
24	0.00108	0.000176	0.00153	0.000992	0.000578	0	0.00132	0.000808	0.00208	0.000607	0.000876	0
25	0.00221	0.000488	0.00345	0.000998	0.00158	0	0.00248	0.000519	0.00879	0.00107	0.00167	0

NOTA: S = SIN INTV. DEL EXTREMO C = CON INTV. DEL EXTREMO VALORES EN UNIDADES DE WL.

para las 5 de las 6 muestras fue mayor al 4.5%; esto era de esperarse ya que el tiempo de muestreo fué menor (24h). El fondo promedio obtenido con las medidas del G1 y del G2 fué de 0.00086WL (0.637 Bq/m<sup>3</sup>), con un valor máximo de 0.0062WL (4.588 Bq/m<sup>3</sup>) y mínimo de OWL (0 Bq/m<sup>3</sup>).

La tabla 19 muestra los límites de control y los promedios para datos y rangos de cada una de las muestras del G2 que se calculan con (C) y sin (S) la contribución del extremo. Los límites de control y los promedios se calculan utilizando el gráfico de control x-r con una línea central  $\bar{x}$  y  $\bar{r}$ . Estos límites establecen la variación máxima y mínima (obtenida estadísticamente) de la concentración. Como se puede observar en estas muestras se obtienen concentraciones mucho menores al límite de no acción de 0.02 WL, siendo la máxima 0.00392 WL.

La tabla 20 ejemplifica como calcular los límites de control para las 6 muestras (medidas de seguimiento) del G2. Al inicio se especifica el WL promedio, el % de variación y el % de torón que se calcularon con las muestras del G2. La secuencia de cálculo para los límites de este grupo es la misma que se describió en la tabla 17 desde el paso 1 hasta el paso 9. Lo único que varía es el número de lecturas (24) en el intervalo de muestreo, las cuales van desde 06:00 hasta 29:00 (incremento de 01:00) y las lecturas (8) del intervalo del extremo van desde 30:00 hasta 33:30 (incremento de 00:30). Cabe aclarar que el valor de las constantes a 3 $\sigma$  para este gráfico son:

Para  $n = 6$ ,  $A_{\bar{x}} = 0.48$ ,  $D_{rs} = 2.00$ ,  $D_{ri} = 0$  (GrB7).

Para conocer los límites con la contribución del intervalo del extremo, la forma de cálculo varía a partir del paso 10. Estos pasos se explican a continuación:

10) Dividir la sumatoria de las medias del intv. del extremo ( $\Sigma \bar{x}$ ) entre 48 y sumar este resultado al promedio obtenido en el paso 4 para obtener el promedio de las medias que incluye ya al intv. del extremo (Prom.  $\bar{x}$  C).

Prom.  $\bar{x}$  C = Promedio final de medias del grupo 2.

11) Dividir la sumatoria de los rangos del intv. del extremo ( $\Sigma r$ ) entre 48 y sumar este resultado al promedio obtenido en el paso 5

TABLA 20. CALCULO DE LOS LIMITES DE CONTROL PARA LAS MUESTRAS DEL GRUPO # 2.

WL PROM.: 0.00199

+ / - 5.59%

% TORON: INSIGNIFICANTE

DATOS DEL INTV. DE MUESTREO

TIEMPO (HRS):	MEDIA (WL):	RANGO:
08.00	0.0006838	0.001683
07.00	0.0010425	0.002009
08.00	0.001285	0.002687
09.00	0.0010566	0.001328
10.00	0.0010388	0.001505
11.00	0.0009966	0.001118
12.00	0.0012581	0.001798
13.00	0.0015176	0.001914
14.00	0.0015253	0.002382
15.00	0.0018503	0.002892
16.00	0.0016781	0.002895
17.00	0.0017565	0.003041
18.00	0.001824	0.002718
19.00	0.0021123	0.003096
20.00	0.002311	0.002884
21.00	0.0022033	0.00265
22.00	0.00238	0.00265
23.00	0.002436	0.0023
24.00	0.0022133	0.00171
25.00	0.00204	0.0021
26.00	0.002235	0.00224
27.00	0.0021886	0.00203
28.00	0.0023033	0.0018
29.00	0.0022383	0.00251

DE LA TABLA DE FACTORES PARA DETERMINAR LOS LIMITES DE CONTROL  $\bar{x}$  Y  $r$  A PARTIR DE PROM. $\bar{r}$  (Gr#7).

$n = 6$   
 $A_{\bar{x}} = 0.48$   
 $D_{rs} = 2.00$   
 $D_{rl} = 0$

NOTA:  
 LOS FACTORES SE BASAN EN UNA DISTRIBUCION NORMAL.

LIMITE SUPERIOR DE CONTROL

$$LSC\bar{x} = \text{PROM.}\bar{x} + A_{\bar{x}}r \text{ (PROM.}r\text{)}$$

$$LSCr = D_{rs} \text{ (PROM.}r\text{)}$$

LIMITE INFERIOR DE CONTROL

$$LIC\bar{x} = \text{PROM.}\bar{x} - A_{\bar{x}}r \text{ (PROM.}r\text{)}$$

$$LICr = D_{rl} \text{ (PROM.}r\text{)}$$

NOTA: S = SIN INTV. DEL EXTREMO  
 C = CON INTV. DEL EXTREMO

CALCULO DE LOS LIMITES PARA EL INTV. DE MUESTREO

$$\sum \bar{x} = 0.0421613 \quad \sum r = 0.053888$$

$$\text{PROM.}\bar{x} S = 0.00178 \quad \text{PROM.}r S = 0.00225$$

$$\sigma n = 0.000522$$

$$\sigma n-1 = 0.000533$$

$$LSC\bar{x} S = 0.00178 + 0.48 (0.00225) = 0.00284$$

$$LIC\bar{x} S = 0.00178 - 0.48 (0.00225) = 0.00068$$

$$LSCr S = 2.00 (0.00225) = 0.0045$$

$$LICr S = 0 (0.00225) = 0$$

DATOS DEL INTV. DEL EXTREMO

TIEMPO (HRS):	MEDIA (WL):	RANGO:
30.00	0.002195	0.00177
30.30	0.0018306	0.002126
31.00	0.0014143	0.002004
31.30	0.0012593	0.0013
32.00	0.0010026	0.001059
32.30	0.0011815	0.001537
33.00	0.0011015	0.001712
33.30	0.0010825	0.00165

CALCULO DE LOS LIMITES CON LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO

PARA EL INTV. DEL EXTREMO

$$\sum \bar{x} = 0.0110473 \quad \sum r = 0.013158$$

$$\sum \bar{x} / 48 = 0.00023 \quad \sum r / 48 = 0.000274$$

$$+ \text{PROM.}\bar{x} S (0.00178) \quad + \text{PROM.}r S (0.00225)$$

$$= \text{PROM.}\bar{x} C = 0.00199 \quad = \text{PROM.}r C = 0.00252$$

$$LSC\bar{x} C = 0.00199 + 0.48 (0.00252) = 0.00320$$

$$LIC\bar{x} C = 0.00199 - 0.48 (0.00252) = 0.000760$$

$$LSCr C = 2.00 (0.00252) = 0.00504$$

$$LICr C = 0 (0.00252) = 0$$

para obtener el promedio de los rangos que incluye ya al intv. del extremo (Prom.r C).

Prom.r C = Promedio final de rangos del grupo 2.

12) Calcular los límites de control que ya incluyan al intv. del extremo.

$$LSC\bar{x} C = \text{Prom.}\bar{x} C + A\bar{x}r \text{ (Prom.r C)}$$

$$LIC\bar{x} C = \text{Prom.}\bar{x} C - A\bar{x}r \text{ (Prom.r C)}$$

$$LSCr C = D_{ra} \text{ (Prom.r C)}$$

$$LICr C = D_{ri} \text{ (Prom.r C)}$$

La fig. 42 muestra los resultados de los intvs. de muestreo (cada hora) y del extremo (cada 30 min) de cada una de las muestras del G2, además señala los límites de control y promedios (obtenidos con la media de las muestras) tanto con la contribución del extremo (C) y como sin la contribución del extremo (B); se gráficán las muestras 14, 15, 22, 23, 24, y 25. La diferencia que existe entre los límites de control y los promedios sin la contribución del extremo (B) y aquellos en los que se consideró la contribución del extremo (C) es pequeña debido a que el extremo contribuye con una cantidad muy pequeña (0.00023 WL).

$$LSC\bar{x} C = 0.00320WL \quad LIC\bar{x} C = 0.00078WL \quad \text{Prom.}\bar{x} C = 0.00199WL$$

$$LSC\bar{x} B = 0.00284WL \quad LIC\bar{x} B = 0.00068WL \quad \text{Prom.}\bar{x} B = 0.00176WL$$

$$\text{Difer.} = 0.00036WL \quad \text{Difer.} = 0.00010WL \quad \text{Diferen.} = 0.00023WL$$

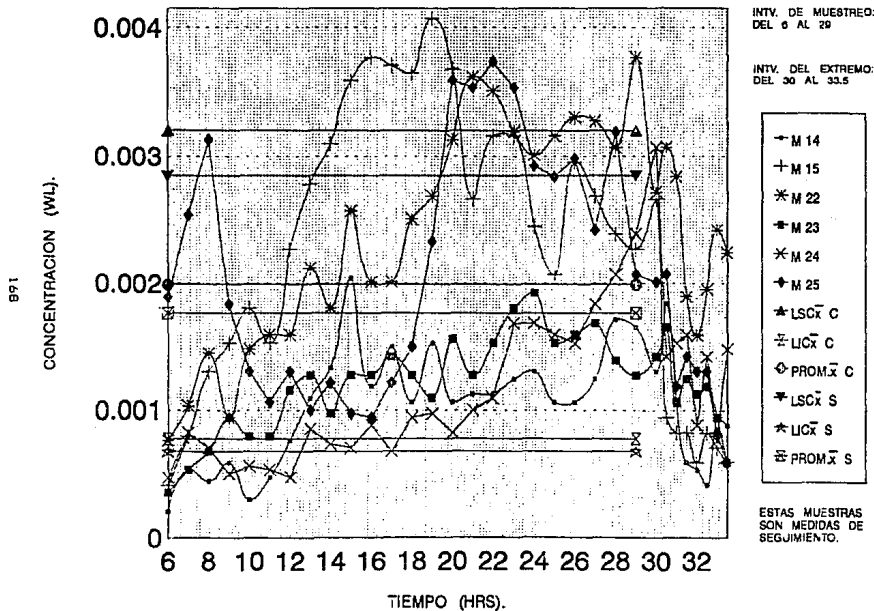
Como se puede observar la gran mayoría de los puntos quedan dentro de los límites, salvo algunos que señalan algún cambio en las condiciones ambientales durante la toma de lecturas. A continuación se muestra cuantos puntos quedan fuera y en que muestra.

Muestra No.	sin intv. del extremo		Con intv. del extremo	
	Puntos fuera	% de puntos fuera	Puntos fuera	% de puntos fuera
14	0	25.00	7	29.17
15	11	45.83	7	29.17
22	10	41.67	6	25.00
23	2	8.33	3	12.50
24	5	20.83	9	37.50
25	8	33.33	4	16.67
Total	42	29.17	36	25.00

Tomando como límite superior el nivel de no acción de 0.02 WL ningún punto queda fuera. Cuando no se toma en cuenta al intv. del extremo quedan 42 puntos fuera de los límites lo cual representa

FIG.42 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LAS MUESTRAS.

LOS DATOS GRAFICADOS SON LAS MUESTRAS (14, 15, 22 A 25) DEL GRUPO 2.  
 LOS LÍMITES Y EL PROM.  $\bar{x}$  SON CALCULADOS CON TODAS LAS MUESTRAS DEL GRUPO 2.



el 29.17% de los datos; si se considera al intv. del extremo, quedan 36 puntos fuera de los límites lo cual representa el 25% de los datos.

La fig. 43 muestra la gráfica de las medias que se obtienen con las muestras del G2. Aquí se gráficán las medias cada hora en el intv. de muestreo y cada 30 min en el intv. del extremo, además se señalan los límites de control y promedios que se obtienen con (C) y sin (8) la contribución del extremo para este grupo. La mitad de los puntos están abajo del promedio de las medias y la otra mitad están por encima, solo la media de las 06:00 se sale de los límites estadísticos, debido a que a esta hora se midió en 5 de las 6 muestras del G2 la concentración más baja; este punto queda fuera al utilizar los límites de control que consideran la contribución del extremo. Esta gráfica indica que las variaciones (obtenidas estadísticamente) para este grupo tomando en consideración al intv. del extremo son:

Promedio de medias = 0.00199 WL  
Límite superior = 0.00320 WL  
Límite inferior = 0.00078 WL

Las medias en el intv. del extremo como era de esperarse van disminuyendo conforme transcurre el tiempo y el análisis de este grupo predice que la máxima concentración a esperarse es 0.00320 WL si no se presenta alguna variación en las condiciones ambientales.

La fig. 44 muestra el gráfico de los rangos que se obtienen con las muestras del G2. Aquí se gráficán los rangos del intv. de muestreo cada hora y del intv. del extremo cada 30 min, se especifican los límites de control y promedios con y sin la contribución del extremo para los rangos (r). Los límites de variación que se obtienen estadísticamente con la contribución del extremo son:

Promedio de rango = 0.00252 WL  
Límite superior = 0.00504 WL  
Límite inferior = 0 WL

Todos los rangos permanescan cerca del promedio de los rangos (enlazamiento) y ninguno se sale de los límites estadísticos, lo

FIG.43 MEDIAS DE LOS DATOS DE LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO PARA EL GRUPO 2.

MEDIA DE LOS DATOS DEL MUESTREO CADA HORA Y DEL EXTREMO CADA 30 MIN.  
LOS LIMITES Y EL PROMEDIO SON CALCULADOS CON TODAS LAS MUESTRAS DEL GRUPO 2.

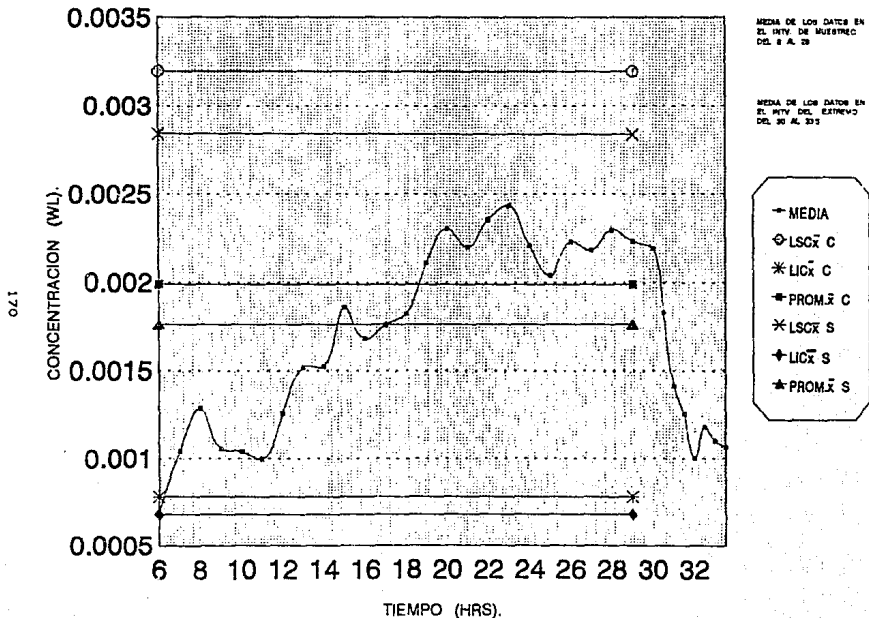
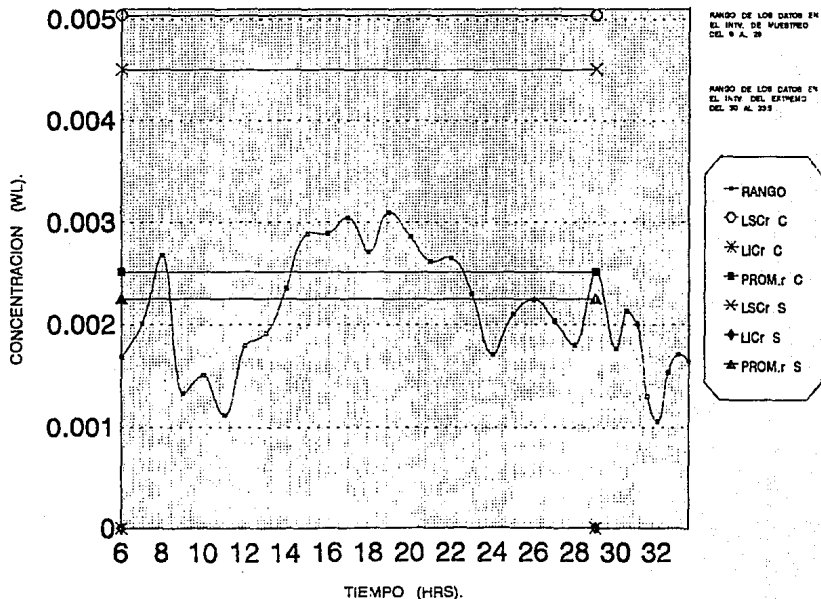




FIG.44 RANGOS DE LOS DATOS DE LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO PARA EL GRUPO 2.

RANGOS DE LOS DATOS DEL MUESTREO CADA HORA Y DEL EXTREMO CADA 30 MIN.  
LOS LIMITES Y EL PROM. SON CALCULADOS CON TODAS LAS MUESTRAS DEL GRUPO 2.



que confirma, que las variaciones que se presentan están dentro de lo normal.

La tabla 21 es un resumen de los datos del G1 y G2 y muestra los promedios de las medias y rango, así como, los límites de control (superior e inferior) para las medias y el rango; sin considerar al intv. del extremo (B) y tomando en cuenta al intv. del extremo (C). Cabe aclarar que no se obtuvo la fusión de G1 y G2 debido a que estos grupos difieren en la cantidad de horas muestreadas y por tanto en la cantidad de lecturas obtenidas. Como puede observarse en ninguno de los dos grupos se esperan concentraciones por arriba de 0.02 WL; siendo la máxima a esperarse de 0.0165 WL (LSDx C).

Para obtener la concentración promedio (WL) de la zona monitoreada es necesario obtener las medias aritmética ( $\bar{x}$ ) y geométrica ( $\bar{a}$ ) de las 25 muestras. En la tabla 22 se muestra el procedimiento para obtener las medias aritmética ( $\bar{x}$ ) y geométrica ( $\bar{a}$ ) para los dos grupos (G1 y G2) y para la fusión de ambos grupos (G1 + G2); además se señalan los rangos de cada grupo. Para calcular las medias se emplean los WL promedio de cada muestra. Los valores de ambas medias son menores a 0.02WL y el rango de los grupos G1 y G1 + G2 es amplio debido a que hay un valor alto correspondiente a la muestra del sótano.

La tabla 23 muestra las medias aritmética y geométrica de los grupos (G1, G2 y G1 + G2) expresados en diferentes unidades; además se indican las desviaciones estándar (G1 y G2) obtenidas con las medias de los datos así como el % de variación promedio para cada grupo. Este % de variación corresponde al promedio en el caso de la media aritmética y para la geométrica se especifica el valor mínimo y el máximo encontrado. Además se muestran los factores de conversión para transformar los resultados a otras unidades. La EPA especifica que las concentraciones a las cuales probablemente no se requieran medidas de seguimiento, (siempre y cuando la medida de investigación se haya realizado en condiciones de casa cerrada) y que tienen probabilidad relativamente muy pequeña de que la concentración de radón como promedio anual sea

## TABLA 21. LIMITES DE CONTROL PARA LOS GRUPOS DE LAS MUESTRAS.

LSC = LIMITE SUPERIOR DE CONTROL LIC = LIMITE INFERIOR DE CONTROL  $\bar{x}$  = MEDIA r = RANGO

MUESTRAS DEL GRUPO N°	CALCULO	PROM. $\bar{x}$	PROM.r	LSC $\bar{x}$	LIC $\bar{x}$	LSCr	LICr
G1	S	0.00743	0.0408	0.0152	-0.00033	0.0653	0.0163
MEDIDAS DE INVESTIGACION	C	0.00811	0.0440	0.0165	-0.00025	0.0704	0.0176
G2	S	0.00176	0.00225	0.00284	0.00068	0.0045	0
MEDIDAS DE SEGUIMIENTO	C	0.00199	0.00252	0.00320	0.00078	0.00504	0

LOS DOS GRUPOS ABARCAN LAS 25 CASAS MONITOREADAS EN LA DELEGACION ALVARO OBREGON.

NOTA : CUALQUIER VALOR NEGATIVO DEBE CONSIDERARSE COMO CERO (0).

NOTA: S = SIN INTV. DEL EXTREMO C = CON INTV. DEL EXTREMO VALORES EN UNIDADES DE WL

TARIFA 22. CALCULO DE LAS MEDIAS ARITMETICA Y GEOMETRICA (EN WL)  
PARA LOS GRUPOS DE LAS MUESTRAS.

MEDIA ARITMETICA:  $\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$

MEDIA GEOMETRICA:  $\bar{a} = \sqrt[n]{a_1 * a_2 * \dots * a_n}$

PARA EL GRUPO # 1 (G1).

MEDIA ARITMETICA:  $\bar{x} = (1/19) * (0.00206 + 0.00267 + 0.00647 + 0.00283 + 0.00286 + 0.00379 + 0.00869 + 0.0137 + 0.00190 + 0.00780 + 0.00141 + 0.00163 + 0.00697 + 0.0328 + 0.0142 + 0.00416 + 0.00524 + 0.0193 + 0.0156)$   
 $\bar{x} = 0.00811$

MEDIA GEOMETRICA:  $\bar{a} = \sqrt[19]{(0.00206 * 0.00267 * 0.00647 * 0.00283 * 0.00286 * 0.00379 * 0.00869 * 0.0137 * 0.00190 * 0.00780 * 0.00141 * 0.00163 * 0.00697 * 0.0328 * 0.0142 * 0.00416 * 0.00524 * 0.0193 * 0.0156)}$   
 $\bar{a} = 0.00544$

RANGO:  $0.0328 - 0.00141 = 0.03139$

PARA EL GRUPO # 2 (G2).

MEDIA ARITMETICA:  $\bar{x} = (1/8) * (0.00122 + 0.00274 + 0.00279 + 0.00141 + 0.00132 + 0.00243)$   
 $\bar{x} = 0.00189$

MEDIA GEOMETRICA:  $\bar{a} = \sqrt[8]{(0.00122 * 0.00274 * 0.00279 * 0.00141 * 0.00132 * 0.00243)}$   
 $\bar{a} = 0.00187$

RANGO:  $0.00279 - 0.00122 = 0.00157$

PARA LOS GRUPOS # 1 Y 2 (G1 + G2).

MEDIA ARITMETICA:  $\bar{x} = (1/25) * (0.00206 + 0.00267 + 0.00647 + 0.00283 + 0.00286 + 0.00379 + 0.00869 + 0.0137 + 0.00190 + 0.00780 + 0.00141 + 0.00163 + 0.00697 + 0.0328 + 0.0142 + 0.00416 + 0.00524 + 0.0193 + 0.0156 + 0.00122 + 0.00274 + 0.00279 + 0.00141 + 0.00132 + 0.00243)$   
 $\bar{x} = 0.00664$

MEDIA GEOMETRICA:  $\bar{a} = \sqrt[25]{(0.00206 * 0.00267 * 0.00647 * 0.00283 * 0.00286 * 0.00379 * 0.00869 * 0.0137 * 0.00190 * 0.00780 * 0.00141 * 0.00163 * 0.00697 * 0.0328 * 0.0142 * 0.00416 * 0.00524 * 0.0193 * 0.0156 * 0.00122 * 0.00274 * 0.00279 * 0.00141 * 0.00132 * 0.00243)}$   
 $\bar{a} = 0.00421$

RANGO:  $0.0328 - 0.00122 = 0.03158$

TABLA 23. RESULTADOS DE LOS GRUPOS DE MUESTRAS EN DIFERENTES UNIDADES.

$\bar{x}$  = MEDIA ARITMETICA       $\bar{a}$  = MEDIA GEOMETRICA

GRUPO Nº	MEDIA	WL	Bq / m <sup>3</sup> EER	pCi / l	+/- % DE VARIACION (DEL EQUIPO)
$\sigma_n = 0.00134$ $\sigma_{n-1} = 0.00135$ G1	$\bar{x}$	0.00811	30.007	1.622	2.43
	$\bar{a}$	0.00544	20.128	1.088	0.83 A 4.13
175 $\sigma_n = 0.000522$ $\sigma_{n-1} = 0.000533$ G2	$\bar{x}$	0.00199	7.363	0.398	5.59
	$\bar{a}$	0.00187	6.919	0.374	4.37 A 6.80
	$\bar{x}$	0.00664	24.568	1.328	3.19
G1 + G2	$\bar{a}$	0.00421	15.577	0.842	0.83 A 6.80

NOTA: WL \* 3700 = Bq / m<sup>3</sup> EER

WL \* 200 = pCi / l

mayor a 0.02 WL ó 4 pCi/l son las menores a 0.02 WL.

Concentración máxima 0.02 WL = 4 pCi/l = 74 Bq/m<sup>3</sup> EER = 148 Bq/m<sup>3</sup>

La fig. 45 muestra el histograma de frecuencias que se trazó con los resultados de las 25 casas. Se seleccionaron 8 intvs. de clase ya que es aproximadamente 1/3 de las muestras. El histograma que se obtuvo es oblicuo o desviado a la derecha. La mayoría de los datos (80%) tienden a agruparse hacia las concentraciones bajas, el 96% de los datos están por abajo de 0.0213 WL y la única muestra (4%) que es mayor a 0.02WL es la muestra del sótano.

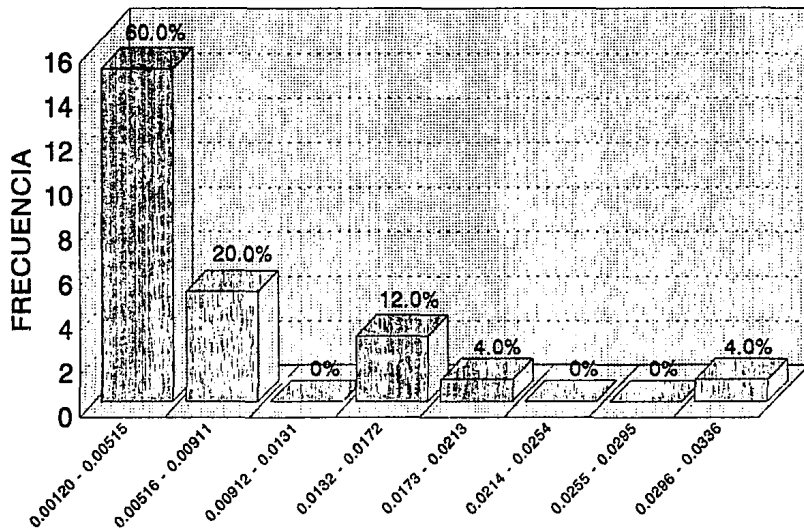
#### 7.4) Medidas por duplicado y medidas blanco.

Otra parte importante del control de calidad son las medidas por duplicado y los blancos. La tabla 24 muestra los resultados de los duplicados con su respectiva muestra (misma casa, lugar y hora de inicio del muestreo) y los blancos tomados en el exterior de casa (muestra 1). Se midieron por duplicado tres muestras (M7, M14 y M23). Los duplicados se obtuvieron inmediatos a su respectiva medida de investigación, con el fin de evitar que las condiciones ambientales y época del año influyeran demasiado en la variación del resultado. Cabe señalar que los duplicados 2 y 3 reportan el % de torón como invalidado por lo que estos duplicados no se toman en cuenta en el análisis estadístico. Respecto a los blancos podemos señalar que los dos primeros (B1 y B2) presentan una variación demasiado pequeña en cuanto al WL promedio y el % de variación. Los otros dos blancos (B3 y B4) reportan el % de torón como invalidado, por lo que estas lecturas no se toman en cuenta en el análisis estadístico.

La tabla 25 muestra los límites de control y los promedios, tanto de los datos como de los rangos que se calculan con y sin la contribución del extremo para el duplicado, los blancos y la media de los blancos. El cálculo se realizó utilizando el gráfico de control ( $\bar{x}-r$ ) (una sola muestra). Este gráfico señala la variación máxima y mínima que estadísticamente se obtiene en cada muestra, además indica si se presenta alguna anomalía (puntos fuera de límites). Para analizar la media de los blancos se utiliza el

# FIG.45 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LAS MUESTRAS.

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



177

INTERVALOS DE CLASE

VALOR MAXIMO: 0.0328

VALOR MINIMO: 0.00122

RANGO: 0.03158

**TABLA 24. RESULTADOS DE LOS DUPLICADOS Y LOS BLANCOS.**

HORAS MUESTREADAS = 48 HRS. INICIO DEL MUESTREO = 08:00 AM.

MUESTRA N°	PERIODO	WL PROM.	+/-% DE VARIACION	% DE TORON	CTE. CAL cpm/WL	FONDO WL(cpm)
M 7	SEP30-OCT02	0.00869	1.67	14	618	0.000599 (0.0333)
D 1	OCT03-OCT05	0.0105	1.53	17	618	0.000809 (0.0499)
M 14	OCT27-OCT29	0.522	0.30	INVALIDADO	618	0.000327 (0.202)
D 2	OCT30-NOV01	0.431	0.26	INVALIDADO	618	0.00671 (4.15)
M 23	NOV29-DIC01	0.541	0.27	INVALIDADO	615	0.000922 (0.567)
D 3	DIC02-DIC04	3.33	0.10	INVALIDADO	615	0.0429 (26.4)

**BLANCOS.**

B 1	SEP08-SEP10	0.000939	5.06	INSIGNIFICANTE	618	0.000189 (0.117)
B 2	OCT08-OCT08	0.000922	5.04	INSIGNIFICANTE	618	0.000027 (0.0167)
B 3	NOV05-NOV07	0.997	0.17	INVALIDADO	618	0.00124 (0.766)
B 4	DIC05-DIC07	10.4	0.08	INVALIDADO	615	0.000919 (5.65)

NOTA : M = MUESTRA, D = DUPLICADO Y B = BLANCO.

**TABLA 25. LIMITES DE CONTROL PARA LOS DUPLICADOS (D) Y LOS BLANCOS (B).**

LSC = LIMITE SUPERIOR DE CONTROL LIC = LIMITE INFERIOR DE CONTROL x = DATOS r = RANGO

MUESTRA N°	PROM. x S	PROM. r S	LSCx S	LICx S	LSCr S	LICr S	PROM. x C	PROM. r C	LSCx C	LICx C	LSCr C	LICr C
D 1	0.00985	0.00032	0.0118	0.06747	0.00268	0	0.0105	0.000997	0.0132	0.00785	0.00326	0
B 1	0.000878	0.000212	0.00144	0.00031	0.00069	0	0.000939	0.000228	0.00154	0.00034	0.00074	0
B 2	0.000335	0.000173	0.00135	0.00045	0.00057	0	0.000922	0.000185	0.00141	0.00044	0.00091	0
MEDIA BLANCOS	0.000882	0.000298	0.00144	0.00033	0.00097	0	0.000951	0.000322	0.00154	0.00033	0.00065	0

MEDIA = AL PROMEDIO DE LOS PROMEDIOS

NOTA : S = SIN INTV. DEL EXTREMO C = CON INTV. DEL EXTREMO VALORES EN UNIDADES DE WL.



gráfico de control ( $\bar{x}-r$ ). La variación que existe en los blancos es muy pequeña y esto lo comprueban los valores de cada uno de los blancos al compararse con la media de los mismos. La concentración de radón en exterior reportada en la literatura es de: 0.08 pCi/l a 0.25 pCi/l ó 0.0004 WL a 0.00125 WL. Los límites obtenidos señalan que la máxima concentración a esperarse en el exterior es de 0.00154 WL (%RMD=10.39%) y la mínima 0.00033 WL (%RMD=9.59%) con un promedio de 0.000931 WL.

La fig. 46 muestra los resultados de los intvs. de muestreo (cada hora) y del extremo (cada 30 min) de los blancos (B1 y B2); además se grafican las medias cada hora en el intv. de muestreo y cada 30 min en el intv. del extremo en base a los dos blancos. Se señalan además, los límites de control y promedios de las medias que se obtienen con (C) y sin (S) la contribución del extremo. La diferencia que existe entre los límites de control y los promedios sin la contribución del extremo (S) y aquellos en los que se consideró la contribución del extremo (C) es muy pequeña debido a que el extremo contribuye con una cantidad muy pequeña (0.000049 WL).

LSC $\bar{x}$  C = 0.00154WL      LIC $\bar{x}$  C = 0.00033WL      Prom. $\bar{x}$  C = 0.000931WL  
 LSC $\bar{x}$  S = 0.00144WL      LIC $\bar{x}$  S = 0.00033WL      Prom. $\bar{x}$  S = 0.000882WL  
 Difer. = 0.00010WL      Difer. = 0WL      Diferen. = 0.000049WL

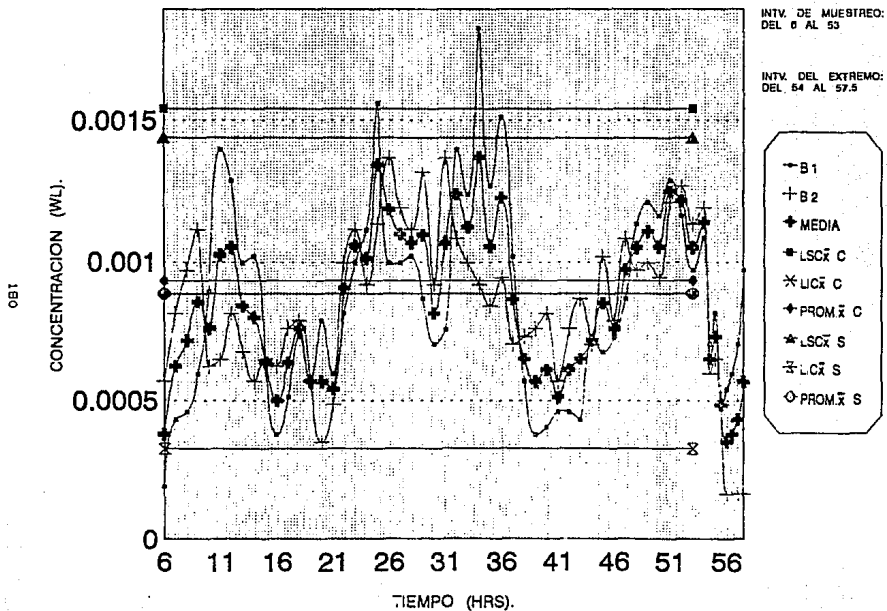
La gran mayoría de los puntos quedan dentro de los límites, salvo algunos puntos. A continuación se indican cuántos puntos quedan fuera y en que blanco.

Blanco No.	Sin intv. del extremo		Con intv. del extremo	
	Puntos fuera	% de puntos fuera	Puntos fuera	% de puntos fuera
1	4	8.82	3	6.25
Total	4	4.17	3	3.13

Cuando no se toma en cuenta al intv. del extremo quedan 4 puntos fuera de límites lo cual representa el 4.17% de los datos; al considerar al intv. del extremo quedan 3 puntos fuera de límites lo cual representa el 3.13% de los datos. Casi la mitad de los puntos de la media quedan abajo del promedio de las medias y el resto quedan por arriba y ningún punto de la media se sale de los límites estadísticos, por lo que el máximo valor a esperarse en el exterior es de 0.00154 WL si no se presenta algún cambio drástico

FIG.46 DATOS DE LOS INTERVALOS DE MUESTREO Y DEL EXTREMO DE LOS BLANCOS.

LOS DATOS GRAFICADOS SON LOS BLANCOS (1,2 Y MEDIA).  
 LOS LIMITES Y EL PROM. $\bar{x}$  SON CALCULADOS CON LOS BLANCOS 1 Y 2.



en las condiciones ambientales.

La fig. 47 muestra la gráfica de los rangos que se obtienen con los blancos 1 y 2. Se gráficán los rangos del intv. de muestreo cada hora y del intv. del extremo cada 30 min y se especifican los límites de control y promedios con y sin la contribución del extremo para los rangos ( $\bar{r}$ ). Los límites de variación (obtenidos estadísticamente) y considerando la contribución del extremo son:

Promedio de rango = 0.000322 WL

Límite superior = 0.00105 WL (máxima variación)

Límite inferior = 0 WL (mínima variación)

Ninguno de los rangos se sale de los límites estadísticos, lo que confirma que las variaciones que se presentan están dentro de lo normal.

La tabla 26 muestra como se obtuvieron las medias aritmética y geométrica de los blancos y las medias en diferentes unidades (WL, pCi/l y Bq/m<sup>3</sup> EER). La concentración promedio que se obtuvo en el exterior está dentro del rango reportado en la literatura y fué de 0.00093WL que está muy cerca del promedio (0.000825 WL) de la literatura.

En la tabla 27 se presenta el porcentaje relativo de desviación del promedio (% RMD) que se obtiene con este equipo. Para conocer el porcentaje se realizaron dos comparaciones; la primera, se de muestras que se midieron en interiores (muestra - duplicado) y la segunda es en exteriores (blanco - blanco). El porcentaje es mayor en interiores debido a que es difícil mantener las mismas condiciones dentro de la casa, en cambio, en el exterior las condiciones no varían demasiado. En base a lo anterior se concluye que las medidas son reproducibles en el exterior con una desviación de 0.91% y en el interior con un 9.43%, lo que es bueno para este tipo de mediciones, en donde existen variaciones ambientales.

FIG.47 RANGOS DE LOS DATOS DE LOS INTVS. DE MUESTREO Y DEL EXTREMO PARA LOS BLANCOS.

RANGO DE LOS DATOS DEL MUESTREO CADA HORA Y DEL EXTREMO CADA 30 Min.  
LOS LIMITES Y EL PROM. SON CALCULADOS CON LOS BLANCOS 1 Y 2.

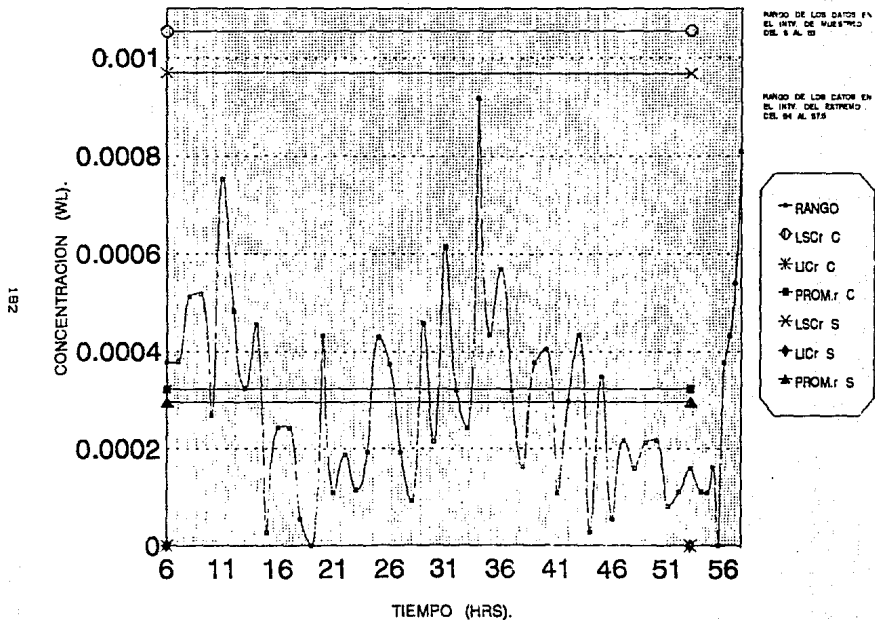


TABLA 26. CALCULO DE LAS MEDIAS ARITMETICA Y GEOMETRICA (EN WL)  
PARA LOS GRUPOS DE LOS BLANCOS.

MEDIA ARITMETICA:  $\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$

MEDIA GEOMETRICA:  $\bar{a} = \sqrt[n]{a_1 * a_2 * \dots * a_n}$

MEDIA ARITMETICA:

$\bar{x} = 0.000935$  WL  
= 0.1051 pCi/l  
= 3.443 Bq/m<sup>3</sup> EER

$\bar{x} = (1/2) * (0.000939 + 0.000922)$

CONCENTRACION DE RADON  
EN EL EXTERIOR  
0.08 pCi/l A 0.25 pCi/l  
O  
0.0004 WL A 0.00125 WL

MEDIA GEOMETRICA:

$\bar{a} = 0.0009304$   
= 0.18608 pCi/l  
= 3.4425 Bq/m<sup>3</sup> EER

$\bar{a} = \sqrt[2]{(0.000939 * 0.000922)}$

RANGO: 0.000939 - 0.000922 = 0.000017

TABLA 27. % RELATIVO DE DESVIACION ENTRE MUESTRA-DUPLICADO Y BLANCO-BLANCO.

M= MUESTRA D= DUPLICADO B= BLANCO C= CON INTV. DEL EXTREMO S= SIN INTV. DEL EXTREMO

COMPARACION Nº	MUESTRA	PERIODO	WL PROM. C	WL PROM. S	% RMD
1 (EN INTERIOR)	M 7	SEP30-OCT02	0.00869	0.00803	C 9.43
	D 1	OCT03-OCT05	0.0105	0.00965	S 9.16
	MEDIA		0.009595	0.00884	$\sigma_n = 0.001274$ $\sigma_{n-1} = 0.001287$
2 (EN EXTERIOR)	B 1	SEP08-SEP10	0.000939	0.000878	C 0.91
	B 2	OCT06-OCT08	0.000922	0.000885	S 0.40
	MEDIA		0.0009305	0.0008815	$\sigma_n = 0.000252$ $\sigma_{n-1} = 0.000255$

NOTA: % RELATIVO DE DESVIACION (% RMD) = (|WL PROM. - MEDIA| / MEDIA) \* 100

### 7.5) Dosimetría Termoluminiscente.

La tabla 28 muestra los resultados de los dosímetros termoluminiscentes que se colocaron en la zona monitoreada; estos dosímetros miden la exposición y a la cual se exponen las personas que residen en esta zona. Los resultados se presentan en tres periodos: 29SEP a 1NOV92, 1NOV a 2DIC92 y 2DIC a 11ENE93 (todo otoño y principios de invierno). Para obtener la exposición promedio de la zona se obtuvo la media de cada una de las casas y después se obtuvo el promedio a partir de las medias antes mencionadas. Cabe aclarar que este promedio se reporta considerando 35 días de exposición ya que el 1er período abarca 33 días, el segundo 31 días y el 3er período 41 días. El número de dosímetro corresponde al número que se le asignó a la muestra por ejemplo dosímetro No. 13 corresponde a la muestra 13. Los dosímetros 26, 27 y 28 se colocaron en otras casas de la Del. Coyacán, pero se incluyen dentro del cálculo debido a que las exposiciones que se reportan están dentro de los valores de los otros 25 dosímetros. Los dosímetros 27 y 28 se colocaron en la misma casa para tener un duplicado. La precisión del par muestra-duplicado se evalúa por el porcentaje relativo de desviación del promedio y se obtuvieron los porcentajes siguientes:

Dosímetro #	E X P O S I C I O N mR			Media
	1er Período	2do Período	3er Período	
27	11.59	6.75	10.80	9.71
28	11.59	6.75	9.69	9.34
Media	11.59	6.75	10.245	9.52
% RMD	0.0	0.0	5.42	1.94
Ejemplo	$\% \text{ RMD} = \left( \frac{ 10.20 - 10.245 }{10.245} \right) * 100 = 5.42\%$			

La fig. 48 muestra el gráfico de las exposiciones que se obtienen en las casas por período; así como la media (mR/35d) resultante de los 3 periodos. En esta gráfica se muestran los límites y el promedio de la media, los cuales son:

Promedio de medias = 9.95 mR/35d  
 Límite superior = 14.78 mR/35d  
 Límite inferior = 5.12 mR/35d

Todas las medias quedan dentro de los límites por lo que la máxima exposición en la zona es 14.78 mR/35d y la mínima es 5.12 mR/35d.

TABLA 28. LECTURAS DE LOS DOSIMETROS DE / TERMOLUMINISCENCIA.

DOBIMETROS DE CaSO <sub>4</sub>: Dy + PTFE. EXPOSICION (mR)

DOSIMETRO N°	1er PERIODO 20SEP-1NOV-92	2do PERIODO 1NOV-2DIC-92	3er PERIODO 2DIC-11ENE-93	MEDIA
1	14.39	8.13	10.31	10.94
2	15.14	7.78	10.00	11.31
3	12.64	8.47	11.18	10.76
4	11.25	8.47	10.49	10.07
5	12.29	9.51	10.14	10.65
6	11.25	7.44	10.31	0.67
7	12.29	8.82	11.46	10.86
8	10.90	7.78	9.38	0.35
9	10.90	7.78	10.45	9.71
10	10.90	7.78	8.82	9.17
11	10.90	6.75	9.34	9.00
12	10.90	6.75	9.10	8.92
13	10.55	6.75	9.41	8.90
14	12.29	6.75	9.51	9.52
15	12.64	6.75	9.17	9.52
16	14.04	7.78	9.83	10.55
17	10.90	6.75	9.79	9.16
18	11.54	6.75	9.96	9.42
19	11.25	6.75	10.52	9.51
20	12.99	7.78	11.63	10.77
21	13.34	6.75	11.25	10.45
22	10.20	6.75	9.81	8.82
23	12.29	7.78	10.90	10.32
24	13.69	8.13	11.53	11.12
25	12.29	7.44	10.73	10.15
26	15.44	6.75	10.52	10.90
27	11.59	6.75	10.80	9.71
28	11.59	6.75	9.89	9.34
PROMEDIO	12.19	7.45	10.20	9.95
+/- VARIACION (PROMEDIO)	0.75	0.36	0.80	0.64

PARA LA MEDIA:  
 $\sigma_n = 0.754$   
 $\sigma_{n-1} = 0.768$

MEDIA ARITMETICA

$$\bar{x} = (1/3) * (12.19 + 7.45 + 10.20)$$

$$\bar{x} = 9.95 \pm 0.64 \text{ mR}$$

MEDIA GEOMETRICA

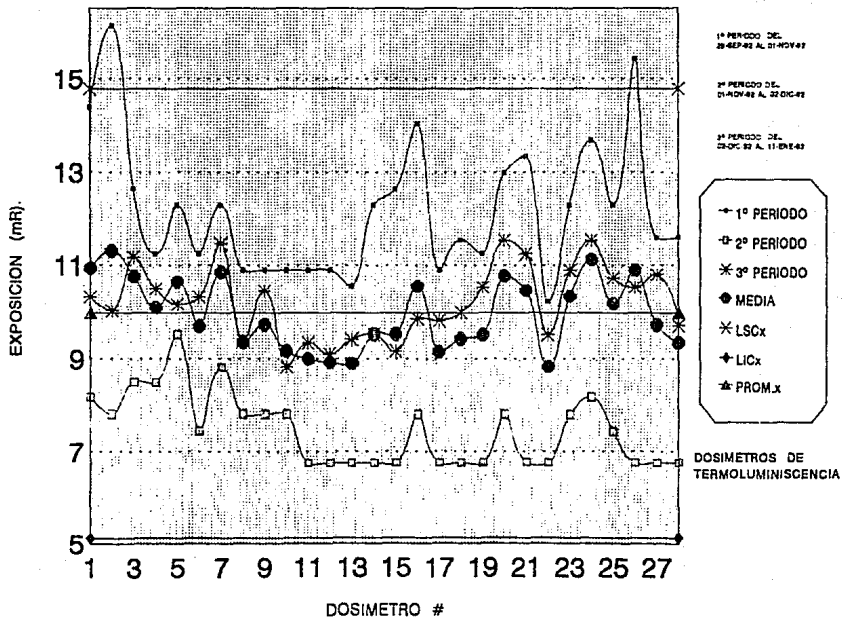
$$\bar{a} = \sqrt[3]{12.19 * 7.45 * 10.20}$$

$$\bar{a} = 9.75 \text{ mR}$$

RANGO DE VARIACION (0.02 A 1.84 mR)

FIG.48 DATOS DE LOS DOSIMETROS DE  $\text{CaSO}_4:\text{Dy} + \text{PTFE}$   
EXPOSICION (mR).

981





7.6) Características de la construcción. Hábitos y costumbres de los moradores.

Los resultados más relevantes que se obtienen al aplicar el cuestionario (apéndice A) son los siguientes:

- No. de personas en la familia: Total: 120 personas/25 casas  
Máx.: 10 personas Mín.: 1 persona Prom.: 4.8  $\approx$  5 personas/familia

- Tipo de construcción:

Casa unifamiliar y ningún sótano:	22 casas	88%
Casa unifamiliar y con sótano:	1 casa	4%
Departamento en un edificio y ningún sótano:	2 casas	8%

- Año de construcción:

1950 - 1969:	5 casas	20%
1970 - 1979:	10 casas	40%
Después de 1980:	10 casas	40%

- Principal material de construcción utilizado en la pared:

Ladrillo blanco y concreto:	5 casas	20%
Ladrillo rojo y concreto:	19 casas	76%
Piedra y concreto:	1 casa	4%

- En que piso esta su estancia y su recámara:

Estancia:	Planta baja (B): 25 casas	100%
Recámara:	Planta baja (B): 7 casas	28%
	Primer piso (C): 18 casas	72%

Preguntas acerca de la habitación muestreada.

- Ventanas: Ventanas individuales con vidrio: 24 casas 96%  
(sótano) Ventanas individuales sin vidrio: 1 casa 4%

- Sistemas de calefacción en invierno:

Ninguna calefacción: 25 casas 100%

- Ventilación: Ventilación natural: 25 casas 100%  
Ventilador eléctrico: 2 casas 8%

- Número de personas que viven en las 25 casas:

1.67% Adultos (mayores de 65 años): Máx.:1 Mín.:0 Total: 2  
83.33% Adultos (16 < edad > 65 años): Máx.:17 Mín.:0 Total:100  
15.00% Niños (menores de 16 años): Máx.:3 Mín.:0 Total: 18

- Tiempo (años) que tienen viviendo en esas casas:

Adultos (mayores de 65 años): Máx.:37 Mín.:24 Tot.: 61 Prom.:30.5  
Adultos (16 < edad > 65 años): Máx.:30 Mín.: 4 Tot.:390 Prom.:16.3  
Niños (menores de 16 años): Máx.:11 Mín.: 3 Tot.: 74 Prom.: 6.2

- Cambios mayores en la subestructura de la construcción:

Excavado de un sótano: 9 años (1 casa, M16)

Vaciado del concreto en el piso de tierra:

Máx.: 37 años Mín.: 4 años Total: 420 Promedio: 17,5 años

Datos de las 25 personas que contestaron la encuesta.

- Sexo de la persona entrevistada: Femenino: 16 personas 64%  
Masculino: 9 personas 36%

- Ocupación actual:

Maestro:	2 personas	8%	Ama de casa:	5 personas	20%
Estudiante:	7 personas	28%	Enfermera:	1 persona	4%
Obrero:	2 personas	8%	Jubilado:	1 persona	4%
Oficinista:	2 personas	8%	Comerciante:	1 persona	4%
Empleado:	2 personas	8%	Chofer:	1 persona	4%
	Mecánico hojalatero:	1 persona		4%	

- Edad a la que comenzó a trabajar en ese empleo:

Máx.:50 (jubilado) Mín.:16 (estudiante) Tot.:506 Prom.:20.2años

- Grado educacional:
 

Primaria:	7 personas	28%	Secundaria:	4 personas	16%
Preparatoria:	6 personas	24%	Licenciatura:	8 personas	32%

- Tipo de combustible para cocinar: Gas: 25 casas 100%

- Promedio anual de meses en que están cerradas las ventanas:
 

Casi siempre :	1 casa (M14)	Nunca:	1 casa (sótno)
No. de meses:	Máx.:3	Mín.:1	Tot.:39 Prom.:1.7meses (23 casas)

- Mientras se cocina que tanto humo hay en el interior de su casa:
 

Poco:	3 casas	12%	Ninguno:	22 casas	88%
-------	---------	-----	----------	----------	-----

- Dentro de un radio de 100m. ¿Qué tanto humo hay en el exterior?:
 

Invierno:	Poco	25 casas	100%	Verano:	Nada	25 casas	100%
-----------	------	----------	------	---------	------	----------	------

- Durante su trabajo está expuesto a:
 

Gasés químicos:	2 personas	8%	Polvo metálico:	1 persona	4%
Humos:	7 personas	28%	Ninguna:	15 personas	60%

#### Fumadores.

- Fuma regularmente (durante 5 o más meses): Si 6 personas 24%  
No 19 personas 76%

- Qué fuma principalmente: Cigarros: 6 personas 100%

- Cigarros que fuma por día regularmente:
 

De 1 a 10 cigarros :	6 personas	100%
----------------------	------------	------

- Fuma regularmente ahora:
 

Si	3 personas	50%
No	3 personas	50%

- Edad a la que comenzó a fumar regularmente (6 personas):
 

Máx.:	30 años	Mín.:	17 años	Total:	144	Promedio:	24 años
-------	---------	-------	---------	--------	-----	-----------	---------

- Edad a la que dejó de fumar regularmente (3 personas):  
Máx.: 38 años Mín.: 20 años Total: 81 Promedio: 27 años
- Años que tiene fumando (excluir los años en que no fumo).  
Máx.: 11 años Mín.: 3 años Total: 38 Promedio: 6.3 años
- Alguien de su familia fuma en su presencia: 81 12 personas 48%  
No 13 personas 52%  
No. de fumadores: Máx.:2 Mín.:1 Total: 15 Prom.: 1.3 personas  
No. de cigarros por día: Máx.:4 Mín.:2 Total:34 Prom.:2.8
- Años que tiene viviendo con fumadores:  
Máx.: 17 años Mín.: 3 años Total: 83 Promedio: 6.9 años

#### Cocinando.

- Cocina en casa: Si 18 personas 72% No 7 personas 28%
- Veces que cocina por día: 3 o más comidas 10 personas 40%  
2 comidas 7 personas 28%  
unas pocas veces por semana 1 persona 4%  
nunca 7 personas 28%
- Edad a la que comenzó a cocinar frecuentemente:  
Máx.: 49 años Mín.: 12 años Total: 375 Promedio: 20.8 años
- ¿Qué tan frecuente sus ojos y garganta están irritados cuando cocina?  
Rara vez: 1 persona 5.6% Nunca: 17 personas 94.4%
- Tipo de aceite que usa regularmente:
 

De soya:	5 personas	27.8%
De cártamo:	11 personas	61.1%
De ajonjolí:	2 personas	11.1%

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, se concluye lo siguiente:

1.- Las calibraciones de eficiencia de conteo y del flujo de la bomba estuvieron dentro del rango que recomienda el fabricante; por tanto, las lecturas de los muestreos son precisas, exactas y confiables.

2.- El tiempo óptimo de muestreo obtenido con las pruebas para las medidas de investigación empleando la WLM-1A es de 48h; con este tiempo de muestreo se obtiene un % de variación menor a 4.5%.

3.- Al muestrear con la WLM-1A un mayor tiempo; se obtiene un % de variación más pequeño y la cantidad de puntos fuera de los límites de control resultantes es menor.

4.- En las 25 medidas de investigación se obtuvieron:

- a) 18 casas (72%) con una concentración menor a 0.02WL y un % de torón de: insignificante o con algún valor.
- b) 1 casa (4%) con una concentración mayor a 0.02WL y un % de torón de: insignificante (sótano).
- c) 6 casas (24%) con una concentración mayor a 0.02WL y un % de torón de: invalidado.

Por lo tanto en este último grupo se realizaron medidas de seguimiento y los valores obtenidos quedan por abajo de 0.02WL y con un % de torón de: insignificante. Finalmente integrando ambas mediciones de investigación y seguimiento (a, b y c), obtenemos lo siguiente:

- a) 24 casas (96%) con una concentración menor a 0.02WL y un % de torón de: insignificante o con algún valor.
- b) 1 casa (4%) con una concentración mayor a 0.02WL y con un % de torón de: insignificante. (sótano).

5.- Tomando como nivel máximo de no acción a 0.02WL (148 Bq/m<sup>3</sup>) quedan 69 lecturas de las 25 muestras por arriba de este

nivel, lo cual representa el 6.53%; estos puntos quedan fuera debido a las variaciones horarias y ambientales. En la muestra del sótano quedan 32 lecturas arriba de 0.02WL lo cual representa el 3.03% de lecturas de las 25 casas.

- 6.- La concentración de radón promedio en interiores que se obtiene para la zona monitoreada (25 casas) en la Del. Alvaro Obregón es de:  $0.00664\text{WL} \pm 0.00021\text{WL}$  (3.19%) ó  $49.148\text{Bq/m}^3 \pm 1.578\text{Bq/m}^3$  (3.19%), con un % de torón promedio de: 7.84%.
- 7.- La concentración de radón promedio en el exterior para la zona monitoreada es de:  $0.000931\text{WL} \pm 0.000047\text{WL}$  (5.05%) ó  $4.898\text{Bq/m}^3 \pm 0.358\text{Bq/m}^3$  (5.05%), con un % de torón promedio de: insignificante.
- 8.- El porcentaje relativo de desviación del promedio (%RMD) que se obtiene con la WLM-1A, señala que las medidas son reproducibles en el exterior con una desviación del 0.91% y en el interior con una desviación del 9.43%, este último porcentaje es un poco alto debido a que es difícil mantener las condiciones de muestreo en el interior.
- 9.- El control de calidad efectuado durante los muestreos respalda a los resultados obtenidos, ya que certifica que la operación del equipo (WLM-1A) fué adecuada.
- 10.- El único parámetro relevante que se correlaciona con una concentración elevada de radón en el sótano, es que éste además está construido con piedra y cemento; en este lugar se obtuvo una concentración promedio de  $0.0328\text{WL} \pm 0.83\%$  ó  $242.728\text{Bq/m}^3 \pm 0.83\%$ .
- 11.- La exposición y promedio obtenida con los dosímetros termoluminiscentes en la zona monitoreada es de:  $9.95\text{mR}/35\text{d} \pm 0.64\text{mR}$  ó  $8.81\text{mR}/\text{mes} \pm 0.57\text{mR}$ . El % RMD obtenido con los dosímetros (muestra-duplicado) señalan que las medidas son reproducibles con una desviación del 1.94%.

APENDICE A. CUESTIONARIO

Radiación ambiental y radón en interiores.

No. de personas de la familia: \_\_\_\_\_

No. de personas a entrevistar: \_\_\_\_\_

Fecha de la entrevista: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
 día mes año

Nombre del entrevistado: \_\_\_\_\_

Dirección del entrevistado: \_\_\_\_\_

Por favor conteste las siguientes preguntas acerca de la construcción y sus estructuras; señale la casilla apropiada.

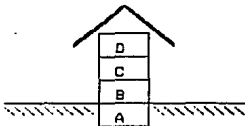
1.- Código de localización: \_\_\_\_\_

- 2.- Tipo de construcción.
- Casa unifamiliar.
  - Departamento en un edificio.
  - Con un sótano.
  - Ningún sótano.
  - Otro: \_\_\_\_\_

- 3.- Año de construcción.
- Antes de 1900
  - 1900 - 1949
  - 1950 - 1969
  - 1970 - 1979
  - Después de 1980.

- 4.- Principal material de construcción utilizado en la parte exterior de las paredes.
- Ladrillo de piedra carbonosa
  - Concreto
  - Piedra
  - Ladrillo de arcilla
  - Desconocido
  - Madera
  - Otro: \_\_\_\_\_  
especificar

Por favor conteste las siguientes preguntas acerca de la habitación muestreada.



- 1.- En que piso esta su estancia y su recámara (por favor llene la casilla de acuerdo con el dibujo).

Estancia

Recámara

2.-Area del piso.

Area del piso: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

Recámaras: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

3.-Ventanas.

- Ventanas individuales con vidrio.
- Ventanas individuales sin vidrio.
- Ventanas con doble vidrio.

4.-Sistemas de calefacción en invierno

Fuego abierto

Solo estufa

Ninguna calefacción

Estancia

Recámara

5.-Ventilación

Ventilación natural

Ventilador eléctrico

Estancia

Recámara

6.-Número de personas que vivan en su casa:

Adultos (mayores de 65 años): \_\_\_\_\_

Adultos (mayores de 16 y menores de 65 años): \_\_\_\_\_

Niños (menores de 16 años): \_\_\_\_\_

7.-¿Cuánto tiempo tienen viviendo en esta casa?

Adultos (mayores de 65 años): \_\_\_\_\_ años

Adultos (mayores de 16 y menores de 65 años): \_\_\_\_\_ años

Niños (menores de 16 años): \_\_\_\_\_ años

8.-Cambios mayores en la subestructura de la construcción:

Excavado de un sótano  año: \_\_\_\_\_

Vaciado de concreto en el piso de tierra  año: \_\_\_\_\_

Cambio del sistema de calefacción  año: \_\_\_\_\_

Por favor escriba algún comentario adicional en este espacio:

GRACIAS



DATOS PERSONALES.

No. de personas de la familia: \_\_\_\_\_

No. de personas a entrevistar: \_\_\_\_\_

Fecha de la entrevista: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
  día mes año

Nombre del entrevistado: \_\_\_\_\_

Dirección del entrevistado: \_\_\_\_\_

Por favor llene con sus datos, marque su respuesta en la casilla apropiada.

1.- Sexo de la persona que se entrevista  Femenino  Masculino

2.- Nacionalidad: \_\_\_\_\_

3.- Fecha de nacimiento: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
  día mes año

4.- Ocupación actual:  Maestro  Estudiante  Obrero  
 Oficinista  Otra: \_\_\_\_\_  
  especificar

5.- ¿A que edad comenzó a trabajar en este empleo?: \_\_\_\_\_ años

6.- Ocupación anterior:  Maestro  Estudiante  Obrero  
 Oficinista  Otra: \_\_\_\_\_  
  especificar

7.- ¿A que edad comenzó a trabajar en este empleo?: \_\_\_\_\_ años

8.- Estado civil:  Casado  Viudo  Divorciado  
 Vuelto a casar  Soltero

9.- Grado educacional:  Analfabeto  Primaria  
 Secundaria  Preparatoria  
 Licenciatura

10.- Otras casas donde la persona entrevistada ha vivido durante 3 o más años.

a) Primera casa: Desde la: \_\_\_\_\_ a la \_\_\_\_\_  
  edad edad

Dirección: \_\_\_\_\_

Tipo de calefacción en invierno:

Fuego abierto  Estufa

Otra: \_\_\_\_\_  
  especificar

Tipo de combustible para cocinar:  
 Carbón  Leña  Gas  
 Otro: \_\_\_\_\_

especificar

b) Segunda casa: Desde la: \_\_\_\_\_ a la \_\_\_\_\_  
 edad edad

Dirección: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Tipo de calefacción en invierno:  
 Fuego abierto  Estufa  
 Otra: \_\_\_\_\_

especificar

Tipo de combustible para cocinar:  
 Carbón  Leña  Gas  
 Otro: \_\_\_\_\_

especificar

11.- En su casa actual:

- a) ¿Cuántos meses en promedio al año, están cerradas las ventanas?  
 Nunca  No. de meses: \_\_\_\_\_
- b) ¿Mientras se cocina que tanto humo hay en el interior de su casa?  
 Mucho  Poco  Ninguno
- c) Dentro de un radio de 100m de su residencia ¿Qué tanto humo hay en el ambiente externo?  
 Invierno:  Mucho  Poco  Ninguno  
 Verano:  Mucho  Poco  Ninguno
- d) Las fuentes de humo en su casa son:  
 Fábricas  Residencial (cocinado o calefacción)  Otra: \_\_\_\_\_  
 especificar

12.- Durante su trabajo está expuesto a:

- a) Humos  Si  No  
 b) Gases químicos  Si  No  
 c) Gases metálicos  Si  No  
 d) Polvo de madera  Si  No  
 e) Polvo de carbón  Si  No  
 f) Polvo de sílice  Si  No  
 g) Polvo de fibra textil  Si  No  
 h) Polvo de asbesto  Si  No  
 i) Polvo metálico y óxidos  Si  No  
 j) Radiaciones  Si  No  
 k) Otro: \_\_\_\_\_  
 especificar

13.- Fumadores

- a) ¿Ha fumado regularmente? (durante 5 o más meses).  
 Si  No
- b) Si respondió sí; ¿Qué fuma principalmente?  
 Cigarros  Pipa china  Pipa occidental  
 Cigarrillos de hoja  Tabaco para pipa de agua  
 Otro: \_\_\_\_\_  
 especificar



BIBLIOGRAFIA

- Ak84 Akerblom, G., D. Anderson, and B. Calavensjo. "Soil Gas Radon - A Source for Indoor Radon Daughters." Radiation Protection Dosimetry, Vol.7, No. 1-4, 1984, pp. 49-54.
- ANSI73 American National Standards Institute. "American National Standard for Radiation Protection in Uranium Mines." ANSI N13.8 - 1973.
- ASHRAE81 American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc. "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality." ASHRAE Standard 62-1981 Atlanta, GA, 1981.
- Ax78 Axelson, O. and L. Sundell. "Mining Lung Cancer and Smoking." Scand. J. Work Environ. Health, 4, 1978, pp. 46-52.
- Ax79 Axelson, O., C. Edling, and H. Kling. "Lung Cancer and Residency - A Case - Reference Study on the Possible Impact of Exposure to Radon and its Daughters in Dwellings." Scand. J. Work Environ. Health, 5, 1979 pp. 10-15.
- Be83 Bernard Ostle. "Estadística Aplicada. Técnicas de la Estadística Moderna, Cuando y Donde Aplicarlas." Limusa, México, Bva. Reimpresión, 1983, p.549.
- Br83 Bruno, R.C. "Sources of Indoor Radon in Houses: A Review." Air Pollution Control Association, Vol. 33, No.2, February 1983, pp. 105-109.
- Ca84 Capel Molina José J. "El Clima de los Estados Unidos Mexicanos." Almería: Instituto de Geografía Aplicada, España, 1984, p.114, 122 y 229.
- Ch74 Chapin, F.B., Jr. "Human Activity Patterns in the City: Things People Do in Time and Space." John Wiley and Sons, New York, 1974.
- Ch81 Chameaud, J., R. Perraud, R. Masse, and J. Lafuma. "Contribution of Animal Experimentation to the Interpretation of Human Epidemiological Data." Radiation Hazards in Mining: Control, Measurement, and Medical Aspects, M. Gomez (ed.), Society of Mining Engineers, New York, 1981, pp. 222-227.
- Ch80 Choppin, G., and Rydberg, J. "Nuclear Chemistry. Theory and Applications." Pergamon Press, New York, 1980.
- CeENS/86 As cited in Chemical and Engineering News, May 5, 1986, pp. 27-28.

- Co85 Cothorn, C.R. and Lappenbusch, W.L. "Drinking Water Contribution to Natural Background Radiation." Health Physics, 30, 1985, p. 3.
- Co86 Cothorn, C.R. "Radon in Drinking Water." Submitted to American Water Works Association Journal, May 1986.
- Cr78 Cross, F.T., R.F. Palmer, R.E. Filipy, R.H. Busch, and B.O. Stewart. "Study of the Combined Effects of Smoking and Inhalation of Uranium Ore Dust, Radon Daughters and Diesel Oil Exhaust Fumes in Hamsters and Dogs." PNL - 2744, Battelle Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA, 1978.
- Da79 Dahlgren, E. "Lung Cancer, Cardiovascular Disease and Smoking in a Group of Miners." Lakartidningen, 76, 1979, p. 4811. Cited in Sterling, 1983.
- DDF76 Departamento del Distrito Federal. Dirección General de Planificación. "El Medio Natural del Distrito Federal." México, D.F., 1976, pp. 216-217.
- De86 DeLaune et al., "Radionuclide in Louisiana Soils and Sediments." Health Physics Vol. 51, No. 2, August 1986, pp. 239-244.
- Du81 Durkin, John. "The Error in Working - Level Hour Calculations when the Alpha Energy from the Radon Daughters is not Discriminated." Health Physics Vol.41, 1981, pp. 477-481.
- Ed83 Edling, C. "Lung Cancer and Radon Daughters Exposure in Mines and Dwellings." Linköping University Medical Dissertations No. 157, Linköping, Sweden, 1983.
- Ed84 Edling, C., G. Wingren, and O. Axelson. "Radon Daughters Exposure in Dwellings and Lung Cancer." Indoor Air Vol. 2, Radon Passive Smoking Particulates and Housing Epidemiology. B. Berglung, T. Lindrall, and J. Sundell, (eds.) Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden, 1984, pp. 29-34.
- E187 Eisenbud, M. "Environmental Radioactivity." Academic Press, Edition 3th, New York, 1987.
- EPAB5 U.S. Environmental Protection Agency. "Variation of Radon Concentrations Between Rooms and Floor Levels Within Single Family Homes." Office of Radiation Programs, Las Vegas Facility, Las Vegas, NV, 1985.
- EPAB6a U.S. Environmental Protection Agency. "Interim Indoor Radon and Radon Decay Product Measurement Protocols." EPA 520/1-86-04, Office of Radiation Programs, Washington, DC, 1986.

- EPAB7a U.S. Environmental Protection Agency. "Interim Protocols for Screening and Follow-up Radon and Radon Decay Products Measurements." EPA 520/1-86-014. Office of Radiation Programs, Washington, DC, 1987.
- Er73 Erikson, Ralph L. "Crustal Abundance of Elements and Mineral Reserves and Resources." U.S. Mineral Resources, 1973, pp. 21-25.
- F173 Finch, Warren I., Arthur P. Butler, Jr., Frank L. Armstrong, Albert E. Weissenborn, Mortimer H. Staatz, and Jerry Olson. U.S. Mineral Resources, 1973, pp. 455-476.
- F184 Fleischer, R.L. and L.G. Turner "Indoor Radon Measurements in the New York Capital District." Health Physics, 46, 1984, pp. 99-101.
- Ge80b George, A.C. "Radon and Radon Daughters Field Measurements." Paper presented at National Bureau of Standards Seminar on Traceability for Ionizing Radiation Measurements, May 8-9, 1980.
- Ge83 Gessell Thomas, F. "Background Atmospheric Rn - 222 Concentrations Outdoors and Indoors: A Review." Health Physics, 45/2, 1983, pp. 289-302.
- Ge84 George, A.C. "Passive, Integrated Measurements of Indoor Radon Using Activated Carbon." Health Physics, Vol. 46, No. 4, 1984.
- Ge85 George, A.C. "Measurements of Sources and Air Concentrations of Radon and Radon Daughters in Residential Buildings." Presented at the American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers Semiannual Meeting, Honolulu, HI, June 1985.
- Gr87 Grant Eugene Lodewick. "Control Estadístico de Calidad." CECSA, México, 1987, p. 662.
- Ha81 Harley, N.H., and B.B. Pasternak. "A Model for Predicting Lung Cancer Risks Induced by Environmental Levels of Radon Daughters." Health Physics, 40, March 1981, pp. 309-316.
- Ha85 Hess, C.T., R.L. Fleischer, and L.G. Turner. "Field and Laboratory Test of Etched Track Detectors for Rn-222 Summer-vs-Winter Variations and Tightness Effects in Maine Houses." Health Physics, 49, 1985, pp. 65-79.
- Ho86 Howe, G.R., R.C. Nair, H.B. Newcomb, A.B. Miller, and J.D. Abbott. "Lung Cancer Mortality (1950-1980) in Relation to Radon Daughters: Exposure in a Cohort of Workers at the Eldorado Beaver Lodge Uranium Mine." JNCI 77, 1986, pp. 357-362.

- ICRP75 International Commission on Radiological Protection. "Report of the Task Group on Reference Man." ICRP Publication 23, Pergamon Press, New York, 1975.
- ICRP79 International Commission on Radiological Protection. "Limits for Intakes of Radionuclides by Workers." ICRP Publication 30, part 1, Ann. ICRP, Vol. 2, (3/4), Pergamon Press New York, 1979.
- ICRP87 International Commission on Radiological Protection. "Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters." A report of a task group of the ICRP Publication 50, Pergamon Press, New York, 1987.
- IG85 Instituto de Geografía, U.N.A.M. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. "Precipitación y Probabilidad de Lluvia en los Estados de Guerrero, Distrito Federal y Morelos." México, D.F., 1985.
- INEGI89 Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Departamento del Distrito Federal. "Alvaro Obregón: Cuaderno de Información Básica Delegacional." México, D.F., 1989, pp. 2-6.
- Ka84 Kathryn, Ronald, L. "Radioactivity in the Environment." Sources, Distribution and Surveillance. Harwood Academic Publishers, New York, 1984.
- Ke84 Keller, G., K.H. Folkerts, and H. Muth. "Special Aspects of the Rn-222 and Daughters Product Concentrations in Dwellings and the Open Air." Radiation Protection Dosimetry, 7, 1984, pp. 151-154.
- Ko90 Kotrappa, P., J.C. Dempsey, R.W. Ramsay and L.R. Stieff. "A Practical E-PERM (Electret Passive Environmental Radon Monitor) System for Indoor <sup>222</sup>Rn Measurement." Health Physics Vol.58, No.4, April 1990, pp. 461-467.
- Ku56 Kusnetz, H.L. "Radon Daughters in Mine Atmospheres - A Field Method for Determining Concentrations." American Industrial Hygiene Association Quarterly, Vol. 17, 1956.
- Lu79 Lundin, F.E. Jr., V.E. Archer, and J.K. Wagoner. "An Exposure-Time Response Model for Lung Cancer Mortality in Uranium Miners: Effects of Radiation Exposure, Age and Cigarette Smoking." Energy and Health, Proceedings of the 2dn Conference of the Society for Industrial and Applied Mathematics, N.E. Breslow and A.S. Whittemore, (eds.), SIAM, Philadelphia, 1979, pp. 243-264.
- Mo76 Moeller, D.W. and D.W. Underhill. "Final Report on the Study of the effects of Building Materials on Population Dose Equivalent." School of Public Health, Harvard University, 1976.

- My83 Myrick, et al. "Determination of Concentrations of Selected Radionuclides in Surface Soil in the U.S." Health Physics, Vol. 45, No. 3, 1983, pp. 631-642.
- NCRP84/77 National Council on Radiation Protection and Measurements. "Exposures From the Uranium Series with Emphasis on Radon and its Daughters." Report No. 77, March 1984.
- Ne83 Nero, A.V. and W.W. Nazaroff. "Characterizing the Source of Radon Indoors." Presented at the International Seminar on Indoor Exposure to Natural Radiation and Related Risk Assessment, Capri, Italy, October 3-5, and submitted to Radiation Protection Dosimetry, September 1983.
- Ne86 Nero, A.V., M.B. Schwehr, W.W. Nazaroff, and K.L. Ravzan. "Distribution of Airborne Rn-222 Concentrations in U.S. Homes." Science, 234, 1986, pp. 992-997.
- Ne2/84 Nero, A.V. and W.W. Nazaroff. "Transport of Radon from Soil into Residences." 3rd International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Stockholm, Sweden, February 1984.
- Ne85 Nero, A.V. "What We Know About Indoor Radon." Testimony prepared for hearings held by the Subcommittee on Natural Resource, Agricultural Research and Environment, Committee on Science and Technology, U.S. House of Representatives, October 10, 1985.
- Nh86 Neiheisel, James and R. Thomas Peake. "An Approach to Identifying Areas with Potential for High Indoor Radon Levels." Geologic Society of America Annual Meeting, San Antonio, TX, 1986.
- Ny83 Nyberg, P.C. and D.E. Bernhardt. "Measurement of Time - Integrated Radon Concentrations in Residences." Health Physics, 45, 1983, pp. 539-543.
- Oa72 Oakley, D.T. "Natural Radiation Exposure in the United States." ORP/SID 72-1, USEPA, 1972.
- Ra84 Radford, E.P. and K.G. St. Clair Renard. "Lung Cancer in Swedish Iron Miners Exposed to Low Doses of Radon Daughters." N. Engl. J. Med., 310, 1984, pp. 1485-1494.
- Rv90 Ray-D-Vac de México. "Manual de Control Estadístico del Proceso." México, D.F., 1990.
- SGD886 Secretaría General de Desarrollo Social. El Colegio de México. Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano. "Atlas de la Ciudad de México." México, D.F., 1986, pp. 244-249.



- St79 Straden, E., L. Berteig, and F. Ugleitveit. "A Study on Radon in Dwellings." Health Physics, 36, 1978, pp. 413-421.
- St77 Steinhauser, F. and W. Hofmann. "Dose Calculations for Infants and Youths Due to Inhalation of Radon and its Decay Products in the Normal Environment." In Proceedings of the Fourth International Congress of the International Radiation Protection Association, Paris, 2, 1977, pp. 497-500.
- Su83 Summers Donald B. "Chemistry Handbook." Second Edition, Willard Grant Press, Boston, Massachusetts, USA, 1983, pp. 20, 38 y 41.
- Sw61 Swanson, Vernon E. "Geology and Geochemistry of Uranium in Marine Black Shales: A Review, Uranium in Carbonaceous Rocks." U.S. Geology Professional 356, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1961.
- Sw80 Swedjemark, G.A. "Radioactivity in Houses Built of Aerated Concrete Based on Alum Shale." Proceedings of Symposium - Assessment of Radon and Daughter Exposure and Related Biological Effects, Rome, RD Press, Salt Lake City, March 1980.
- Bz72 Szalai, A. "The use of time: daily activities of urban and suburban populations in twelve countries." Mouton, The Hague, Paris, 1972.
- Ta86 Tanner, Allan B., "Geologic Factors that Influence Radon Availability." Proceedings of an APCA International Specialty Conference on Indoor Radon, Philadelphia, PA, 1986.
- Th72 Thomas, J.W. "Measurement of Radon Daughters in Air." Health Physics, Vol.23, 1972, p.783.
- Th85 Thomas, D. C., K. G. McNeill, and C. Dougherty. "Estimates of Lifetime Lung Cancer Risks Resulting from Rn Progeny Exposure." Health Physics, 49, 1985, pp. 825-846.
- Ta53 Tevoglou, E. C., Ayar, H. E., and Holoday, D. A. "Occurrence of Nonequilibrium Atmospheric Mixtures of Radon on its Daughters." Nucleonics, Vol. 1, 1953, p. 40
- UNSCEAR77 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. "Sources and Effects of Ionizing Radiation." Report to the General Assembly, New York, 1977.
- UNSCEAR82 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. "Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects." New York, 1982.

- UNSCLEAR88 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. "Sources and Effects of Ionizing Radiation." Anexo a: Exposures from Natural sources of Radiation. New York, 1988.
- W686 West, T. R. "Fractures in Glacial Till Related to Increased Permiability and Concern Sanitary Landfill in Central Indiana." Proceedings of the 99th Annual Geologic Society of America Meeting, November 1986.
- Wh83 Whittemore, A.S. and A. McMillan. "Lung Cancer Mortality Among U.S. Uranium Miners: A Reappraisal." Technical Report No. 68, BIAM Inst. Math Soc., Stanford University, 1983.
- W186 Wilkening, M. and A. Wicks. "Seasonal Variations of Indoor Rn at a Location in the Southwestern United States." Health Physica, 51, 1986, pp. 427-436.

EN LA ELABORACION DEL MANUAL DE OPERACION SE EMPLEO:

Eberline a División of Thermo Electron Corporation.  
"Working Level Monitor Technical Manual." January 1988.

