

Medida de Radón y Descendientes
en el Desmantelamiento de una
Instalación Nuclear del CIEMAT

M.P. Ramírez
E. Correa
C. Sancho

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Información y Documentación, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ciudad Universitaria, 28040-MADRID, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Los descriptores se han seleccionado del Thesaurus del DOE para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. La catalogación se ha hecho utilizando el documento DOE/TIC-4602 (Rev. 1) Descriptive Cataloguing On-Line, y la clasificación de acuerdo con el documento DOE/TIC.4584-R7 Subject Categories and Scope publicados por el Office of Scientific and Technical Information del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Depósito Legal: M -14226-1995
ISSN: 1135 - 9420
NIPO: 238-99-003-5

Editorial CIEMAT

CLASIFICACIÓN DOE Y DESCRIPTORES

560101; 440100

RADON; INDOOR AIR POLLUTION; IONIZATION CHAMBERS; SEMICONDUCTOR
DETECTORS; RADIATION DOSE; NUCLEAR FACILITIES

“Medida de Radón y Descendientes en el Desmantelamiento de una Instalación Nuclear del CIEMAT”

Ramírez, M. P.; Correa, E.; Sancho, C.
27 pp. 6 figs. 11 refs.

Resumen:

De acuerdo con lo establecido por la nueva directiva de la Unión Europea 96/29/EURATOM se considera el riesgo radiológico debido a los radionucleidos naturales y por tanto la conveniencia de realizar controles periódicos. En consecuencia, en este trabajo se ha realizado una estimación de la dosis efectiva media debida a la inhalación de radón en las dependencias de una instalación nuclear del CIEMAT en fase de desmantelamiento. Con este objetivo, se ha obtenido, en continuo, las concentraciones de radón y descendientes, así como las condiciones meteorológicas, temperatura, presión y humedad relativa, utilizando los equipos: Alpha-guard, con detector basado en cámara de ionización, y Eda-wlm-300, con detector de barrera de silicio. Simultáneamente se ha obtenido las concentraciones de radón integradas en todo el intervalo de muestreo mediante el detector pasivo E-perm. Se ha analizado los resultados obtenidos en la medida de la concentración de radón y descendientes en recintos cerrados y en la estimación de dosis.

“Environmental Concentration of Radon and Radon Progeny in a Nuclear Facility in a Decommissioning Stage”

Ramírez, M. P.; Correa, E.; Sancho, C.
27 pp. 6 figs. 11 refs.

Abstract:

According to the new European Directive 96/29/EURATOM the radiological risk due to natural radionucleides must be considered and the pertinent periodic control must be realized. During the works performed at CIEMAT an estimation of the effective average dose due to Radon inhalation in work places of the installation have been performed. Radon and Radon progeny concentration has been measured in continuous joint with the meteorological conditions as temperature, pressure and relative humidity. Two different equipment has been used: Alpha-guard with ionization chamber detector and Eda-wlm-300 with a semiconductor detector. A passive Radon detector, E-perm has been simultaneously used in the monitoring system. The results obtained during the measuring of Radon and Radon progeny concentrations indoors and estimation of dose have been analyzed and are presented in the paper.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1.- <u>INTRODUCCION</u>	3
1.1.- <i>Efectos sobre la salud</i>	
1.2.- <i>Cadena radiactiva de radón y descendientes</i>	
1.3.- <i>Mecanismos de desplazamiento</i>	
2.- <u>OBJETIVOS</u>	6
3.- <u>REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS</u>	7
4.- <u>EQUIPOS UTILIZADOS</u>	7
4.1.- <i>Equipos de medida de gas radón</i>	
4.2.- <i>Equipos de medida de descendientes de radón.</i>	
5.- <u>RESULTADOS</u>	9
5.1.- <i>Factor de equilibrio</i>	
5.2.- <i>Gráficos</i>	
5.3.- <i>Estimación de la dosis efectiva anual debida a la inhalación de radón.</i>	
6.- <u>CONCLUSIONES</u>	15
7.- <u>REFERENCIAS</u>	16
8.- <u>ANEXO 1</u>	17

MEDIDA DE RADÓN Y DESCENDIENTES EN EL DESMANTELAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN NUCLEAR DEL CIEMAT

M^a Puerto Ramírez, Enrique Correa, Carlos Sancho.
Protección Radiológica del Ciemat.

1.- INTRODUCCION

La radioactividad natural debida al gas noble radón está presente en el aire tanto en espacios abiertos, como en el interior de edificios, ó recintos cerrados.

La concentración en aire de este elemento no suele ser elevada, excepto en zonas de alta radioactividad natural y en espacios cerrados con una deficiente ventilación. Altas concentraciones de radón se alcanzan particularmente en lugares tales como minas, cuevas naturales o túneles.

Aún cuando la exposición en la mayor parte de las viviendas y centros de trabajo no es significativa, la dosis debida a la presencia de radón en el ambiente representa, aproximadamente, el 50 % de la dosis total de la radiación de origen natural recibida por la población.

1.1 Efectos sobre la salud

La existencia de una alta tasa de mortalidad entre los mineros en Europa Central era conocida desde el 1600. A finales del siglo pasado fue identificada como la principal causa de muerte entre ellos el cáncer de pulmón. Posteriormente se sugirió la posibilidad de que tales cánceres fueran debidos a la exposición a radón .

Extrapolar la posible influencia entre la inhalación de radón y el riesgo de contraer cáncer de pulmón de los mineros a toda la población es bastante más reciente.

La estimación de las consecuencias sobre la salud de las exposiciones a las radiaciones ionizantes está basada en estudios epidemiológicos del público y de los trabajadores. En el ámbito de las radiaciones los estudios epidemiológicos se basan en establecer una relación estadística entre la exposición y los efectos sobre la salud. Estos estudios se realizan bajo la duda razonable de que las radiaciones son un agente más de desarrollo de cáncer en algunos órganos y tejidos humanos, incluido el pulmón.

Cualquier persona está expuesta a la radiación ionizante de origen natural, por lo que es necesario, poder evaluar y distinguir la exposición por radiación externa de aquella producida por inhalación de radón.

Los átomos que se forman en la desintegración del radón, pueden fijarse a pequeñas partículas de polvo del aire, que se pueden adherir al tejido de recubrimiento de los pulmones.

Una parte de estos átomos se transforma emitiendo partículas alfa, con el riesgo asociado de romper el ADN de las células y por tanto colaborar al desarrollo de cáncer de pulmón.

Se considera que el único riesgo debido a la inhalación de radón es el asociado con el cáncer de pulmón, ya que el alcance de las partículas alfa es extremadamente corto, y por tanto no es posible que puedan llegar a otros órganos.

1.2 Cadena radiactiva de radón y descendientes

El radón es un gas químicamente inerte y eléctricamente neutro. Por otra parte el radón es un elemento radiactivo.

El radón natural existe en tres formas isotópicas, que descienden de la cadena de desintegración de las series del uranio, torio y actinio, son respectivamente: Rn^{222} , Rn^{220} y Rn^{219} .

El Rn^{220} pertenece a la serie del torio, se denomina toron (Tn) y su período de semidesintegración es de 54,5 segundos y el Rn^{219} pertenece a la serie del actinio, se denomina actinón y tiene un período de semidesintegración de 3,92 segundos.

De estos tres isótopos el de vida más larga es el Rn^{222} , que desciende de la serie del ^{238}U y tiene un periodo de semidesintegración de 3,823 días, y se denomina radón.

El Rn^{222} es descendiente directo del Ra^{226} , de gran importancia desde el punto de vista radiológico, debido a su largo período de semidesintegración 1622 años, y a la abundancia de su progenitor, el U^{238} .

La desintegración del Rn^{222} viene acompañada por la desintegración de sus cuatro descendientes de vida corta (tabla 1), acabando la cadena radioactiva con el isótopo Pb^{210} , con un periodo de semidesintegración de 22 años.

Tabla.1. (ICRP Publicación 65)

Radionucleido	Energía en Mev de la emisión α	Período de semidesintegración
Rn^{222}	5.49	3.82 días
Po^{218}	6.00	3.05 min
Pb^{214}	Emisor β, γ	26.8 min
Bi^{214}	Emisor β, γ	19.9 min
Po^{214}	7.69	164 μs

Estos descendientes de vida corta tienden a unirse a las partículas de aerosol del aire ambiental, trayendo como consecuencia que no se alcance en casi ninguna circunstancia el equilibrio, entre el gas y dichos descendientes, siendo más probable el equilibrio en recintos cerrados donde no existen corrientes de aire.

1.3 Mecanismos de desplazamiento

El Rn^{222} es un gas, en condiciones normales de presión y temperatura, que se difunde y escapa a la atmósfera a través de los poros y grietas de las rocas, del terreno y de los materiales de construcción, como consecuencia de la desintegración del radio presente en su composición química.

Los diferentes mecanismos de desplazamiento del radon son los que se enumeran a continuación.

1.- En recintos cerrados el mecanismo difusivo suele ser el predominante cuando los materiales de construcción son la fuente de radón más importante.

La difusión, tiene lugar desde zonas de mayor a menor concentración. En este caso la evolución de la concentración de radón viene dada por la ecuación de difusión, siendo determinante el concepto de longitud de difusión, definido como la distancia media que el radón puede recorrer en un determinado material antes de desintegrarse.

La densidad de flujo de radón a través de una superficie, si se considera la contribución debida al terreno, viene dada por la expresión:

$$J_d = C_{RA} \lambda_{RN} f \rho (D_e/(\lambda_{RN}\epsilon))^{0.5}$$

Donde:

C_{RA} , es la concentración de actividad de Ra^{226} ($Bq \cdot Kg^{-1}$)
 λ_{RN} , es la constante de desintegración de Rn^{222} ($2,1 \times 10^6 s^{-1}$)
 f , es la fracción de emanación
 ρ , es la densidad del material ($Kg \cdot m^{-3}$)
 D_e , es el coeficiente de difusión efectiva para el material ($m^2 \cdot s^{-1}$)
 ϵ , es la porosidad del material

La expresión entre paréntesis es la longitud de difusión.

Si se considera la contribución debida a los elementos de construcción, tales como los muros, la densidad de flujo de radón a través de una superficie viene dada por la expresión:

$$J_d = C_{RA} \lambda_{RN} f \rho (D_e/(\lambda_{RN}\epsilon))^{0.5} \tanh d (D_e/(\lambda_{RN}\epsilon))^{-0.5}$$

Siendo d la mitad del espesor de las superficies consideradas.

2.- Cuando la principal fuente de radón proviene de la composición del suelo del terreno, hay que considerar el mecanismo de **convección (advección)**, debido a presiones diferenciales entre el gas del suelo y el interior de los recintos. El efecto de convección puede variar por la influencia de: el flujo de viento de fuera a dentro de los edificios y la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior. Aunque también en ocasiones pueden ser significativos los cambios de presión atmosférica.

Para calcular el flujo de radón debido al mecanismo de convección, se puede utilizar la expresión:

$$U = (3,6 \cdot 10^3 S_b J_d) / V$$

Donde:

U , es la tasa de entrada de radón ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$)

S_b , es el área de la superficie considerada (m^2)

J_d , es el flujo a través de una superficie ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)

V , es el volumen del recinto seleccionado (m^3)

2.- OBJETIVOS

En la nueva Directiva de la Unión Europea 96/29/EURATOM se considera el riesgo radiológico debido a los radionucleídos naturales y por tanto la conveniencia de realizar controles periódicos.

En consecuencia uno de los objetivos de este trabajo ha sido la determinación de la concentración ambiental de radón y descendientes y la estimación de la dosis efectiva anual media debida a su inhalación.

Se ha analizado las fluctuaciones de radón y descendientes y su relación con las condiciones meteorológicas.

Con estos objetivos, se ha obtenido, en continuo, en las distintas dependencias de una instalación del CIEMAT las concentraciones de radón y descendientes, así como las condiciones meteorológicas, temperatura, presión y humedad relativa, utilizando dos equipos: Alpha-guard, con detector basado en cámara de ionización, y EDA-WLM300, con detector de barrera de silicio.

Se ha calculado el factor de equilibrio a partir de los resultados obtenidos por estos dos equipos.

Simultáneamente se han obtenido las concentraciones de radón integradas en todo el intervalo de muestreo mediante el detector pasivo E-perm.

Se han comparado y analizado la correlación de los resultados obtenidos en las medidas efectuadas, con los tres equipos utilizados con el objetivo de implementar una metodología fiable y rápida de vigilancia ambiental.

3.- REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS

Para la realización de las medidas se ha tomado como escenario una instalación nuclear del CIEMAT, denominada IN-04, "Celdas Calientes Metalúrgicas", en fase de descontaminación y desmantelamiento.

En paralelo con el control radiológico final de la instalación IN-04 se ha medido la concentración de radón y sus descendientes en distintos despachos y zonas de la instalación.

Para la realización de estas medidas se seleccionaron dependencias de las plantas primera, baja y sótano con el fin de disponer de una información lo más completa posible, y poder evaluar las posibles diferencias entre ellas. En el Anexo 1 están los planos de situación de estas dependencias.

Se relacionan a continuación las dependencias seleccionadas:

Primera planta: Dos despachos (2-5, 2-8)

Planta baja: Sala de control de Protección Radiológica, vestíbulo de entrada y zona de manipulación (1-5, 1-1, 1-2).

Planta sótano: Sala de máquinas y taller (0-2, 0-3)

Las características de estos equipos y su modo de operación se describen en el epígrafe 4: EQUIPOS UTILIZADOS.

El tiempo de medida seleccionado en los monitores activos fue de 1 h, durante los mismos intervalos de tiempo en ambos equipos, para poder comparar ambas medidas.

Se han obtenido registros de medida entre 2 y 7 días en cada dependencia para poder obtener la evolución de radón y descendientes de forma rigurosa.

4.- EQUIPOS UTILIZADOS

Para medir la contribución del radón y sus descendientes a la concentración ambiental se han utilizado tres equipos, siendo los dos primeros detectores de gas radón y el tercero detector de descendientes del radón.

4.1- Equipos de medida de gas radón

AlphaGUARD PQ2000/MC50

Es un monitor activo de radón, con detector basado en cámara de ionización, con un volumen nominal de la cámara de 0.5 l. Utiliza un filtro de fibra de vidrio, para evitar la entrada de polvo en la cámara. El intervalo de medida varía desde 2 Bq.m^{-3} hasta 2.10^6 Bq.m^{-3} .

El tiempo de muestreo se puede seleccionar desde intervalos de 10 minutos hasta cada hora.

Además del detector para gas radón, viene provisto de sondas integradas que suministran, cada 60 minutos los valores de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), la presión atmosférica (mbar) y la humedad relativa del aire (%).

La cámara funciona bajo una tensión de 750 v, en modos: digital (Proceso Digital de la Señal, PDS) y analógico (corriente). El modo PDS permite efectuar un análisis espectroscópico alfa en tres dimensiones, ya que utilizando técnicas de correlación cruzada es posible extraer información útil de la señal de fondo. La señal así obtenida se analiza simultáneamente en tres redes diferentes con convertidores analógicos digitales (CAD) distintos, que le permite evaluar las concentraciones de radón en la cámara con gran precisión.

E-PERM (Electret-Passive Environmental Monitor)

Es un monitor pasivo de radón basado en la cámara de ionización electret. Los principales elementos del equipo son: el detector electret, la cámara de medida y el lector. Hay varios tipos de cámaras, en estas medidas se ha utilizado la cámara denominada "S" cuyo volumen activo es de 200 ml.

El electret es un plástico no conductor que ha sido cargado electrostáticamente, se monta sobre un soporte que al encajarlo en la cámara de medida se crea en su interior un campo eléctrico que atraerá los electrones producidos por el gas radón. Estas cargas negativas neutralizan la carga positiva del electret, dando como resultado una disminución de la tensión. La tensión inicial es de unos 725 v y se puede utilizar hasta los 150 v .

La cámara está diseñada de modo que el aire que entra ella no contiene descendientes de radón, por tanto, la disminución de la tensión está directamente relacionada con la concentración de radón y el tiempo de exposición.

La medida de radón con este sistema resulta muy sencilla de realizar: basta leer los voltajes inicial V_i y final V_f del electret inmediatamente antes y después de montarlo en la correspondiente cámara, anotando la fecha y hora de ambas medidas con objeto de calcular el periodo de exposición T. Un programa de cálculo suministrado por el fabricante, permite obtener la concentración de gas radón.

Estas cámaras de ionización electret son sensibles a la radiación gamma, por lo tanto, es necesario introducir un factor de corrección debido al fondo gamma ambiental. Para obtener este dato, simultáneamente con estas cámaras se ha utilizado un dosímetro electrónico EPD de SIEMENS. Además de la tasa de dosis en el punto de medida, el programa necesita los potenciales inicial y final del detector, y la altitud sobre el nivel del mar, para poder evaluar la contribución de radiación cósmica.

4.2.- Equipos de medida de descendientes de radón

EDA-WLM 300

Es un equipo de medida en continuo de la concentración de los descendientes del radón, que lleva incorporado un detector de barrera de silicio.

Utiliza como técnica de medida la detección de las emisiones alfa provenientes de los descendientes del radón, Po^{214} y Po^{218} , que son retenidos en un filtro de $0.8 \mu m$, mediante una bomba de caudal $1 l.min^{-1}$.

El intervalo de muestreo se puede seleccionar en 0.1 h ó 1 h. Mediante una salida RS-232 permite transmitir los datos almacenados a un ordenador.

Los datos suministrados por este equipo son: el número de medida, el valor integrado cada hora de los descendientes del radón (mWL) y la media acumulada hasta ese momento en las medidas anteriores (mWL).

5.- RESULTADOS

Los valores medios obtenidos en todo el tiempo de muestreo se han reflejado en la Tabla.1, donde se relaciona para las distintas dependencias el valor obtenido con cada uno de los tres equipos utilizados.

Para poder expresar todos los resultados en las mismas unidades se ha utilizado el siguiente factor de conversión: $1 mWL = 3,7 Bq. m^{-3}$ (de concentración de radón en equilibrio).

Tabla.1

Dependencia	Intervalo de muestreo	Radon Alpha-guard (Bq/m³)	Descendientes Eda-Wlm (Bq/m³) (mWL)	Radón E-perm (Bq/m³)
1.-Pta. 1ª (Despacho)	(10-12-97) (12-12-97)	73	48 (13 mWL)	66
2.-Pta. 1ª (Despacho)	(12-12-97) (15-12-97)	26	19 (5,1 mWL)	47
3.-Pta baja (Zona de manipulación)	(15-12-97) (22-12-97)	47	32 (8,6 mWL)	53
4.-Pta baja (Despacho control de PR)	(7-1-98) (12-1-98)	21	12 (3,2 mWL)	39
5.- Pta. Baja (Hall)	(22-1-98) (27-1-98)	87	47 (12,7 mWL)	98
6.- Sotano (Sala máquinas)	(15-1-98) (16-1-98)	14	6 (1,6 mWL)	
7.- Sotano (Taller)	(16-1-98) (22-1-98)	95	62 (16,8 mWL)	109

- En la dependencia (6) sótano, no se ha reflejado el valor obtenido con el equipo Eperm, ya que un tiempo de medida de 24 h con este equipo no se considera significativo.

Coincidiendo en el tiempo con la medida de radón se ha medido la tasa de dosis media en todo el intervalo mediante el dosímetro EPD de Siemens El valor de la tasa de dosis gamma obtenida, utilizando este dosímetro, ha oscilado según la dependencia medida entre un valor mínimo de 125 nSv/h y un valor máximo de 160 nSv/h .

Al comparar los valores promedio de concentración de radón obtenidos con los equipos Alpha-Guard y Eperm en las diferentes dependencias se observa una diferencia en la medida que oscila entre el 10% y el 12 %, excepto para las concentraciones de un valor inferior a 30 Bq/m³ , donde las diferencias son mayores. Esto es debido a que la incertidumbre asociada al sistema Eperm aumenta significativamente para concentraciones de radón por debajo de 30 Bq.m⁻³ .

5.1.-Factor de equilibrio

El factor de equilibrio es la relación entre la concentración de descendientes del radon equivalente en equilibrio y la concentración de gas radón, siendo la concentración equivalente en equilibrio (C_{eq}), la concentración de actividad de radón en equilibrio con sus descendientes de vida corta que tiene la misma concentración de energía alfa potencial que una mezcla existente que no esté en equilibrio.

Se ha calculado el factor de equilibrio a partir de las medidas obtenidas con los equipos activos, Alpha-Guard y Eda-Wlm, obteniéndose valores que varían de 0.4 a 0.7, estos resultados son coherentes si consideramos la variabilidad de concentración de radón incluso en recintos cerrados.

5.2.- Gráficos

En las Figuras (Fig.1.a, Fig1.b y Fig. 2.a, Fig.2.b) se han representado las medidas realizadas en una dependencia situada en la planta baja de la instalación, denominada "zona de manipulación". Se ha seleccionado esta dependencia por considerarla representativa, tanto por las actividades desarrolladas, como por el número de personas que la ocupan en horas de trabajo.

Las medidas corresponden a un periodo de muestreo de 7 días.

En la Figura 1.a. se ha realizado la representación gráfica de las concentraciones de radón y descendientes. Se han representado los resultados obtenidos en valores integrados de una hora, en función de la hora de medida. La relación que se mantiene entre ambas es el factor de equilibrio, que como se observa varía con el tiempo en una misma dependencia.

En la Figura 1.b. se ha representado los valores medios acumulados de gas radón y descendientes en esta misma dependencia.

En las dos gráficas se observa la correlación entre ambas curvas.

En las figuras 2.a. y 2.b. se ha representado, también para esta dependencia, los valores de la concentración ambiental de radón (Bq/m^3), temperatura ($^{\circ}C$), humedad relativa del aire y presión atmosférica (mbar), en los mismos intervalos horarios. Se ha utilizado un segundo eje de ordenadas para representar la presión, con el fin de mantener la relación de escala.

En estos gráficos se observa la evolución temporal del radón en función de la hora a lo largo del día. Los gradientes de concentración de radón y presión varían inversamente. Esta tendencia está en ocasiones modificada por la variación de la humedad relativa del aire.

La variación de la concentración de radón en recintos cerrados es debida a presiones diferenciales entre la atmósfera de la dependencia y el gas del suelo ó estructura. Estas pequeñas presiones diferenciales son causadas principalmente por diferencias de temperatura entre el aire de la habitación y el exterior, y por variaciones de la presión atmosférica.

Fig.1a : Valores Instantáneos de Radon y descendientes

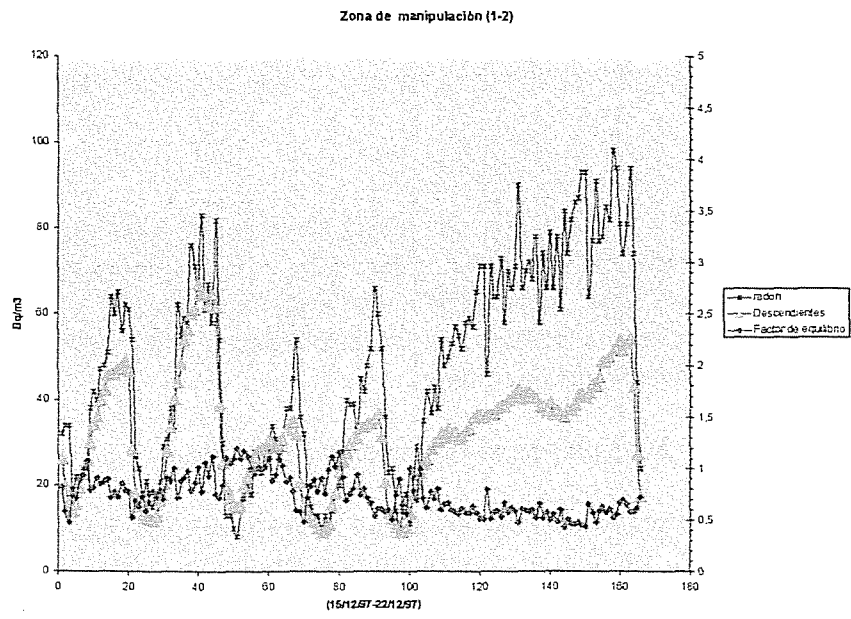


Fig.1.b Media acumulada

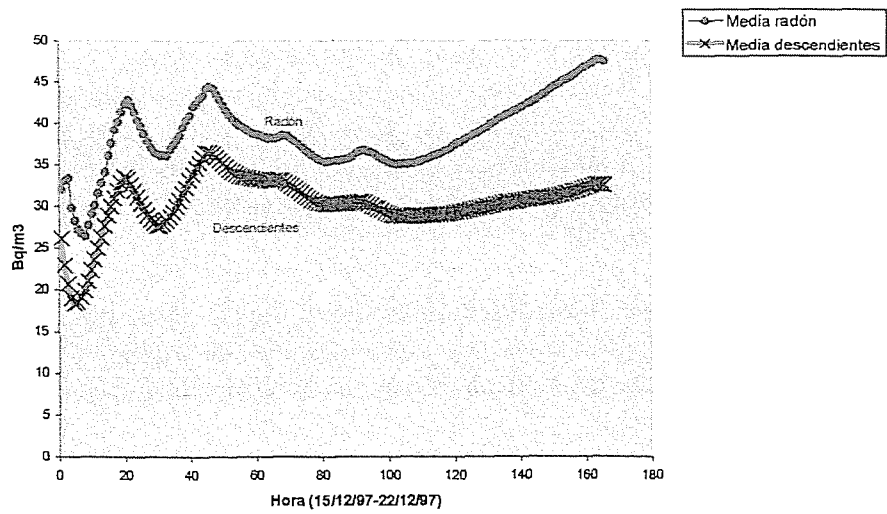


Fig.2.a..Evolución de la concentración media acumulada de radón, la temperatura y la presión ambiental

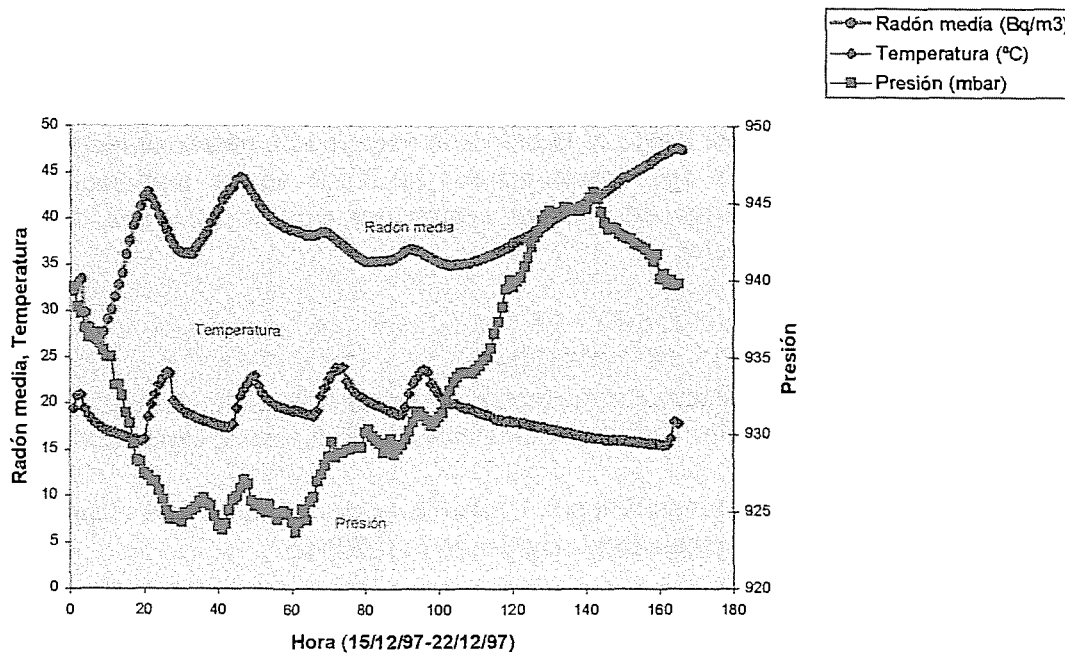
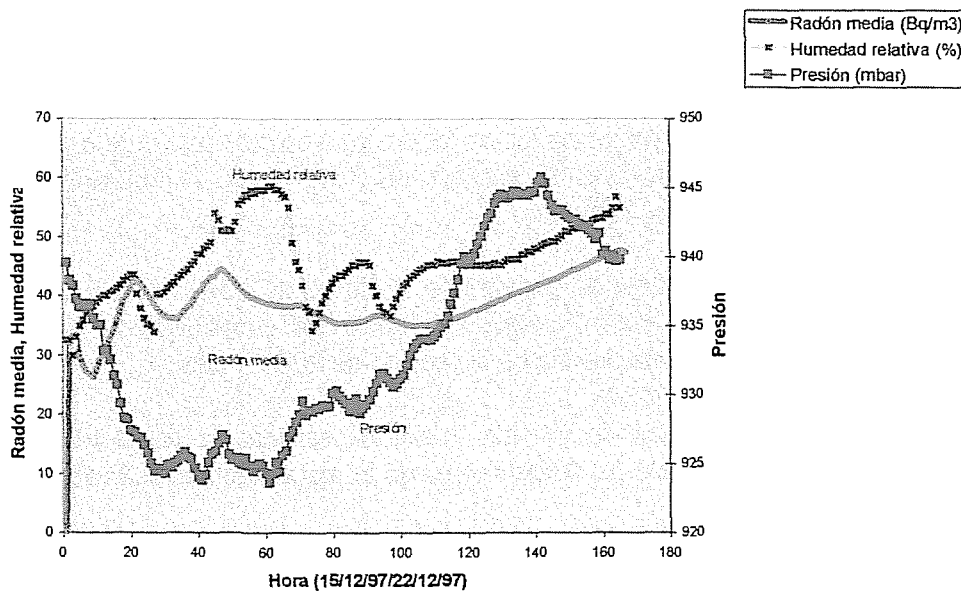


Fig.2.b. Evolución de la concentración de la media acumulada de radón, la humedad relativa y la presión ambiental



5.3.- Estimación de la dosis efectiva anual debida a la inhalación de radón.

Teniendo en cuenta que el órgano crítico en la producción de cancer debida a radón es el pulmón y esto es debido a la energía alfa potencial que se produce en la emisión de sus descendientes, la ICRP en su publicación 65, ha establecido un riesgo de contraer cancer por exposición a una determinada energía alfa potencial.

Este riesgo, o probabilidad de mortalidad por exposición a radón se ha estimado como 8.0×10^{-5} por mJ.h.m^{-3} .

Debido a la exposición a otras fuentes, además del radón, es necesario unificar las unidades y definir la dosis equivalente efectiva, que se expresará en mSv.

La dosis efectiva producida por $1 \text{ mJm}^{-3}\text{h}$ es de 1.1 mSv para el público y de 1.4 mSv para los trabajadores, siguiendo la ICRP-65

Se ha realizado una estimación de la dosis efectiva anual debida a la inhalación de radón en la dependencia denominada Zona de Manipulación.

En esta dependencia, encontramos que la concentración media de descendientes en el intervalo de medida es de 32 Bq.m^{-3} , que corresponde a 8.6 mWL. Estos 8.6 mWL equivalen a $1.79 \times 10^{-4} \text{ mJm}^{-3}$, y para 2000 h de trabajo se obtienen 0.358 mJhm^{-3} . Este resultado supone una dosis anual de 0.4 mSv año

Para la evaluación de la dosis a partir de gas radón, se ha utilizado el valor 47 Bq.m^{-3} de concentración de radón en la misma dependencia, que corresponde al valor medio medido por el equipo ALPHA-GUARD durante el mismo intervalo de tiempo de 7 días.

En este caso los factores de conversión a dosis de ICRP 65 utilizados son, de $3. \cdot 10^{-3} \text{ nSv.h}^{-1}$ por Bq.m^{-3} , para un factor de equilibrio de 0.4, y se ha considerando una permanencia en el recinto de 2000 h año .

Con estas condiciones de partida podemos estimar la dosis efectiva anual debida a gas radón para los trabajadores de la instalación en 0.3 mSv.

Si comparamos los resultados obtenidos en la estimación de la dosis efectiva anual, utilizando el valor de la concentración de radón, se obtiene 0.3 mSv, y cuando consideramos la concentración de descendientes obtenemos un valor de 0.4 mSv.

6.- CONCLUSIONES

1.- Los resultados obtenidos con los tres equipos utilizados son comparables. Con los dos equipos medidores de radón no se obtienen diferencias significativas en los valores medios, siendo más fiables los resultados obtenidos con el equipo Alpha-guard.

En los gráficos realizados de la concentración ambiental de radón y descendientes podemos observar la coherencia en todos los casos de la evolución de ambas curvas.

2.- El sistema de medida utilizado permite la determinación de la concentración de radón y el factor de equilibrio, junto con las variables atmosféricas en tiempos de muestreo cortos y con gran fiabilidad.

3.-El factor de equilibrio habitual en recintos cerrados es 0.4. Se ha obtenido un factor de equilibrio que oscila entre 0.4 y 0.7, este resultado no es significativamente diferente si se considera la variabilidad de las concentraciones de radón gas incluso en recintos cerrados.

4.- Se ha estimado la dosis efectiva anual, recibida por término medio por los trabajadores de la instalación debida a la exposición a radón, obteniéndose un valor de 0.3 mSv, cuando se realiza a partir de la concentración de radón y de 0.4 mSv cuando se realiza a partir de la concentración de descendientes. En la primera estimación, se ha obtenido un valor inferior que en la segunda, debido a que se considera como hipótesis un factor de equilibrio de 0.4 (ICRP-65), siendo en nuestro caso de 0.6. Es decir, la concentración de descendientes es mayor que la supuesta cuando se evalúa sólo la concentración de radón. Podemos concluir que las estimaciones de dosis obtenidas a partir de la concentración de descendientes son más adecuadas que las obtenidas a partir de la concentración de radón.

5.-. Las concentraciones ambientales de radón obtenidas en las distintas dependencias (oscilan en valor medio entre 21 y 73 Bq.m⁻³) son significativamente inferiores a los niveles de intervención reflejados en ICRP-65.

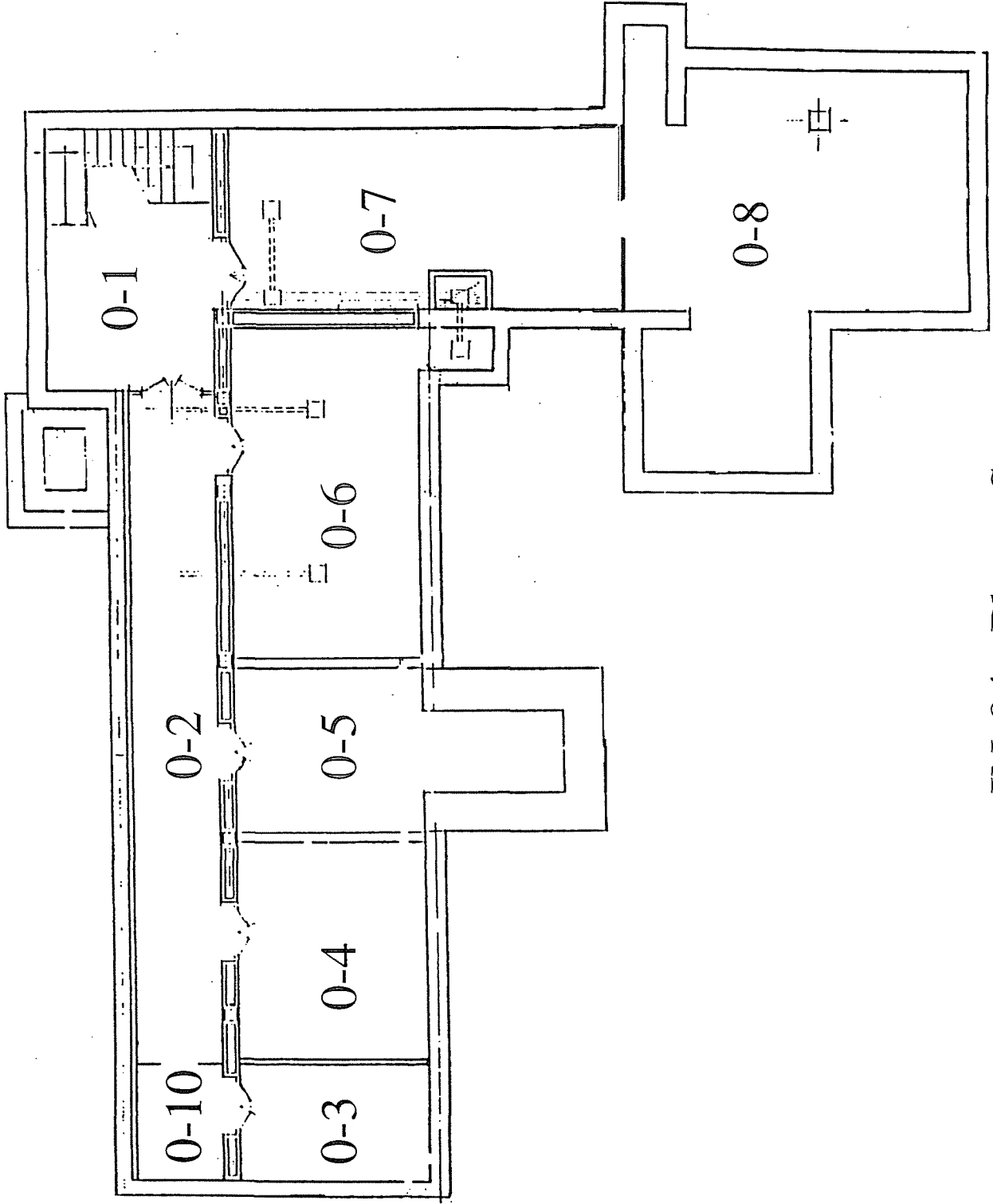
En la ICRP 65 se ha establecido el nivel de intervención para una dosis efectiva de 3 a 10 mSv.año⁻¹. El cálculo del nivel de concentración de radón derivado de esta dosis anual efectiva, considerando una ocupación de 2000 h/año y un factor de equilibrio de 0.4, conduce a un nivel de intervención para una concentración promedio de radón en el intervalo de 500 a 1500 Bq.m⁻³.

7.- REFERENCIAS

- (1) Directiva 96/29 Euratom. Diario oficial de la Comunidad Europea 29/6/96.
- (2) UNSCEAR 93 Report. "Sources, effects and risks of ionizing radiation". Exposures from natural sources of radiation. United Nations. New York.
- (3) ICRP-65. "Protection against Radon-222 at home and at work". Informe nº65. Annals of the ICRP vol. 23 nº 2 (1993).
- (4) A.M. Romero Gutierrez, J.C. Saez Vergara, E. Correa Garcés "Nuevas Técnicas para vigilancia radiológica del gas radón I. Descripción de los equipos AlphaGuard y E-PERM[®]". Rev , Radioprotección Sep-1996.
- (5) A.M. Romero Gutierrez, J.C. Saez Vergara, E. Correa Garcés "Nuevas Técnicas para vigilancia radiológica del gas radón I. Resultados de aplicaciones prácticas". Rev , Radioprotección Sep-1996.
- (6) Puerto Ramírez, Carlos Sancho. CIEMAT/SPR/POI/005/98. Septiembre - 1998.
- (7) Puerto Ramirez, Carlos Sancho. "Evolución de la concentración ambiental de radón y descendientes en una instalación nuclear en fase de descontaminación y desmantelamiento". Sociedad Nuclear Española. Octubre-1998.
- (8) Genitron Instruments. Portable Radon Monitor Alpha-GUARD User Manual. Rev 12/94 (1994).
- (9) Genitron Instruments AlphaVIEW, Software for Analysis of Multiple Parameters. User Manual. Version 1.12e (1994)
- (10) Rad Elec Inc. E-PERM[®] System Manual for use of the ElectretPassive Environmental Radon Monitor System for measurement of radon in air. Rev. 1, 12/94 (1994)
- (11) EDA Operation Manual WLM-300 Working Level Monitor (Febrero 1981)

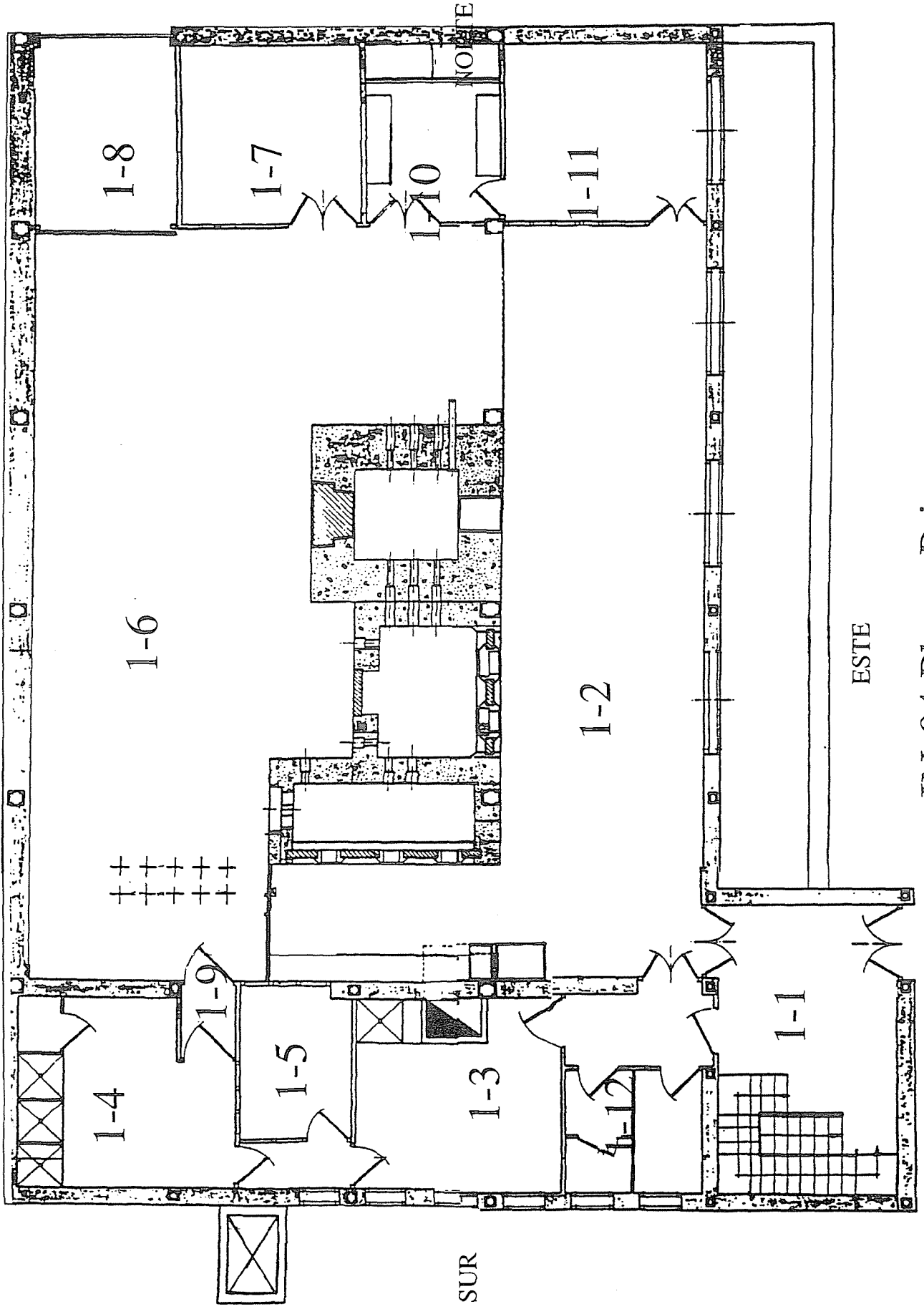
Anexo 1

Planos de las dependencias



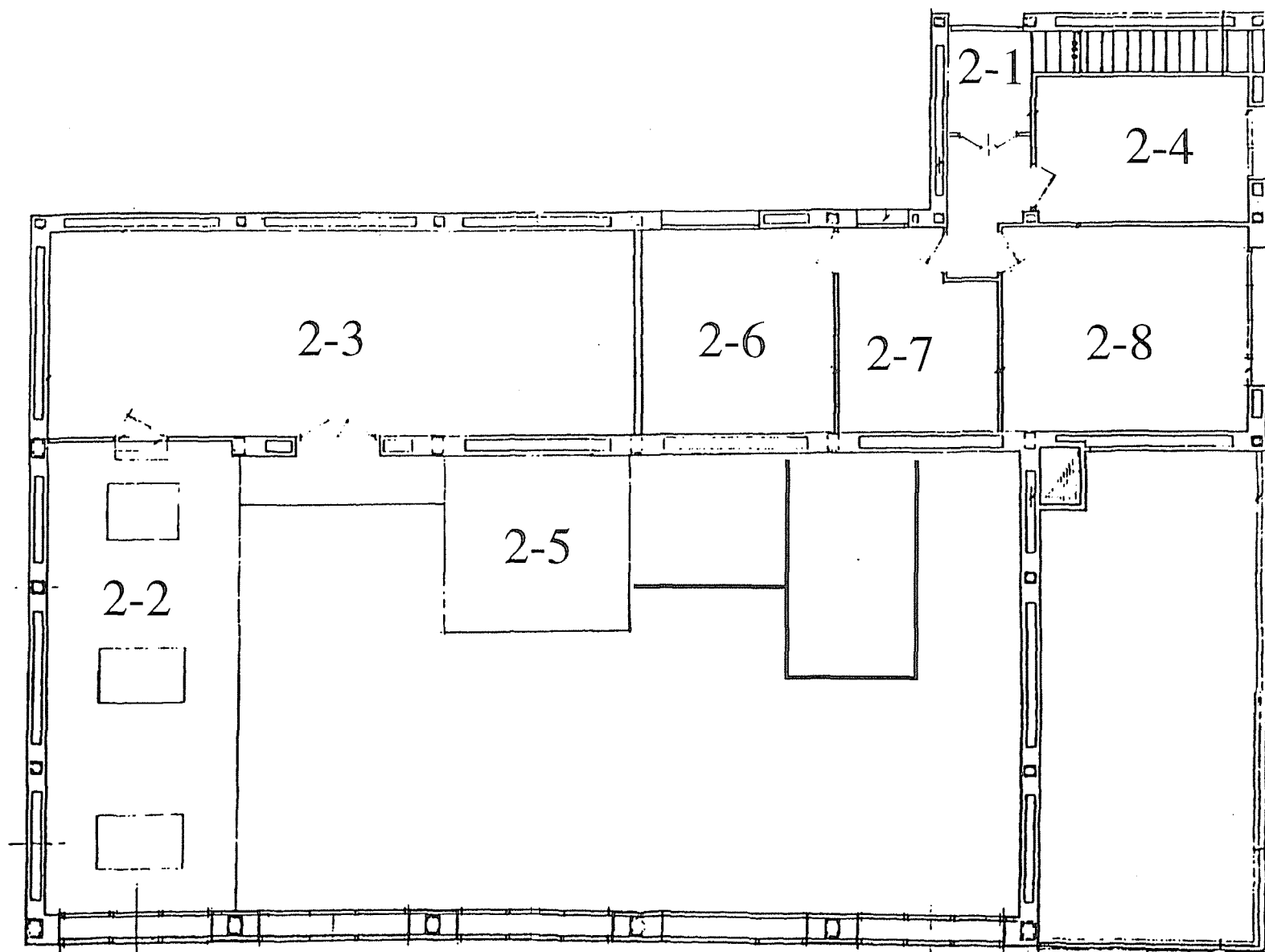
IN-04 Planta Sotano.

OESTE



ESTE

IN-04 Planta Primera.



IN-04 Planta Segunda.

