

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD
MINISTERIO DE SALUD Y ACCION SOCIAL
DIRECCION NACIONAL DE CALIDAD AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE INGENIERIA
CURSO DE POST-GRADO EN
PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD NUCLEAR

TRABAJOS PRACTICOS

TEMAS PROTECCION RADIOLOGICA OCUPACIONAL
(MONITORAJE INDIVIDUAL Y MONITORAJE DE AREAS).

MENOSSI, C.A.	CAMPOS, J.M.
MASSERA, G.E.	BONINO, N.O.
THOMASZ, E.	RIGHETTI, M.
SPANNO, F.	GERARD, D.

BUENOS AIRES - ARGENTINA

1986

TRABAJO PRACTICO:

Monitoraje de la contaminación del personal profesionalmente expuesto (Determinación de la eliminación urinaria de uranio natural por fluorescimetría)

a) Fundamento teórico

Ver técnicas de laboratorio adjuntas

b) Parte práctica

Se procederá a la determinación del contenido de uranio natural en una muestra de orina, previamente contaminada.

Trazado de la curva de calibración

Utilizando distintas alícuotas de una solución patrón de uranio, se trazará en papel milimetrado la curva de calibración, graficando, con tal fin, los valores correspondientes a las masas de uranio (en μg) utilizadas en función de las divisiones leídas en el miliamperímetro del equipo de fluorescimetría.

En el rango de valores utilizados la respuesta obtenida será lineal, debiéndose calcular la pendiente de la recta, expresando tal valor en μg de uranio/divisiones.

Determinación del contenido de Uranio de una muestra incógnita

De acuerdo a lo expresado y teniendo en cuenta las observaciones realizadas por el personal del laboratorio de urinanálisis, se determinará la masa de uranio en una muestra de orina.

Cada alumno llevará a cabo una medición sobre una alícuota de la muestra procesada por personal del laboratorio, anotando el valor de la medición leído y procederá a calcular el contenido de uranio natural haciendo uso de la calibración previamente efectuada.

Interpretación del resultado de la medición

Una vez obtenido el resultado final, se instruirá a los alumnos respecto al análisis de dicho resultado y las posibles implicancias toxicológicas del mismo. Con tal fin, se hará una breve reseña del metabolismo del uranio, su forma de eliminación y las consideraciones necesarias para interpretar racionalmente el resultado.

1) INTRODUCCION

El uranio es procesado en una variedad de formas físicas y químicas en la industria nuclear. Durante su procesamiento hay posibilidad de que los trabajadores incorporen uranio, produciéndose una contaminación interna. Esta contaminación interna dará como resultado dosis de radiación o efectos tóxico-químicos, dependiendo de las características físico-químicas del compuesto y de la actividad incorporada.

Los modelos metabólicos describen la incorporación, retención y excreción, a fin de estimar esas dosis de radiación y/o efectos tóxico-químicos.

Durante esta práctica nos ocuparemos de la determinación fluorimétrica de uranio natural en casos de contaminación profesional. Haremos uso de los modelos metabólicos citados y veremos criterios generales para establecer un muestreo adecuado, con el objeto de establecer el posible grado de contaminación durante los trabajos con uranio.

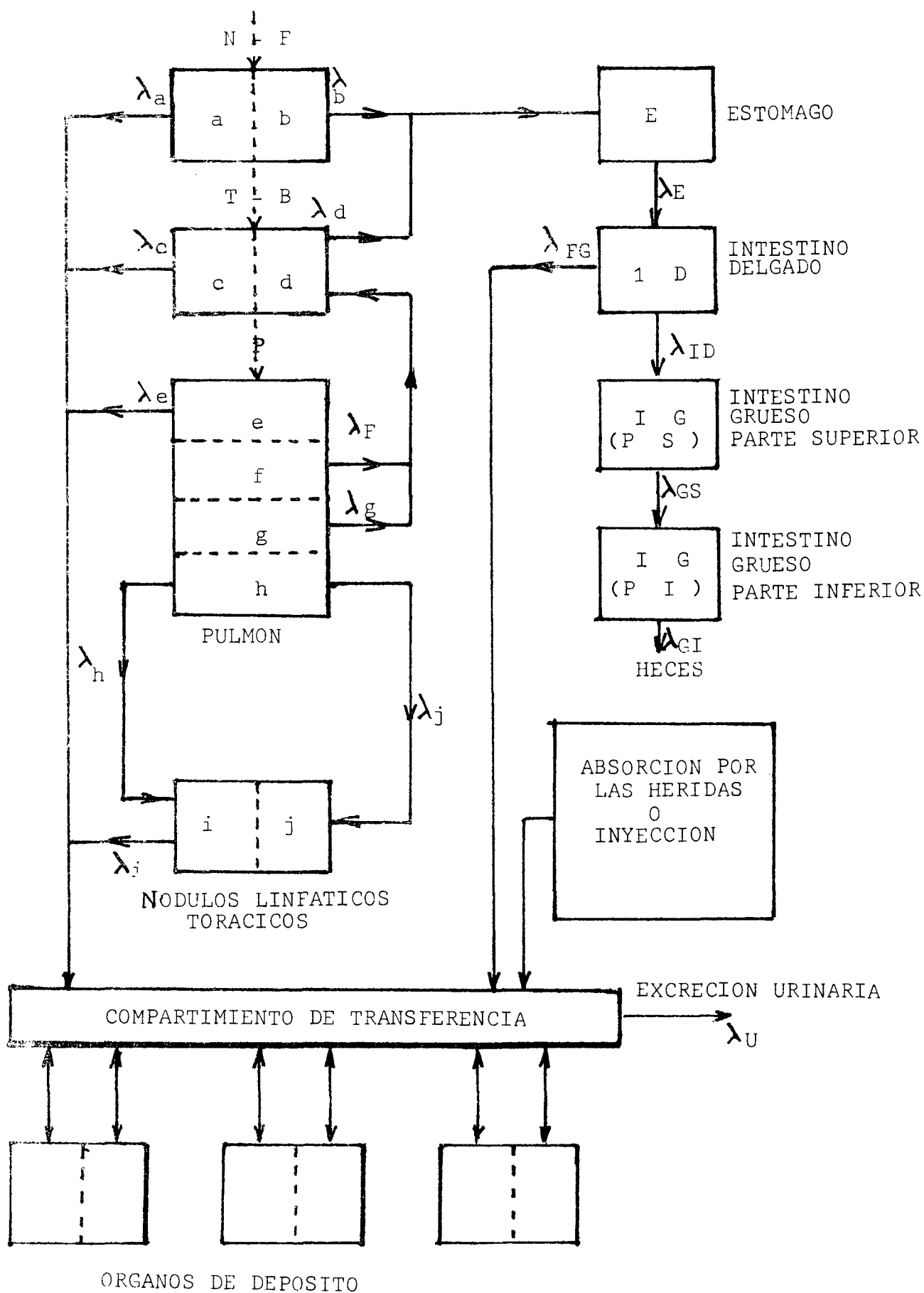
El método más frecuentemente usado para determinar contaminaciones internas es por urinanálisis. Este ensayo provee la información adecuada para casos de incorporaciones de uranio "transferibles", resultando menos aconsejable en la medida que su grado de transferibilidad decrece.

2) MODELO METABOLICO

A los efectos de estudiar la distribución, depósito y eliminación de uranio, es aconsejable compartimentalizar el organismo en una sección pulmonar, otra gastro-intestinal y finalmente una sistémica, subdividida en compartimentos de transferencia, óseo, riñón y tejidos blandos.

La sección pulmonar del modelo (que incluye la naso - faríngea (N - P), traqueo bronquial (T - B), pulmonar (P) y nódulos linfáticos torácicos (N-L) es la desarrollada por el ICRP (TGLD). Para distintos AMAD (activity median aerodynamic diameter), existe su correspondiente deposición en los compartimentos del modelo pulmonar, los cuales sufren un proceso de limpieza según la clase de compuesto que se trate (D, W o Y), hacia otros com-

Transferencia, depósito y excreción de uranio



partimentos.

El comportamiento del tracto gastro-intestinal (GI) es el desarrollo por Eve, que describe el pasaje de un compuesto a través del tracto, su permanencia y eliminación a través de heces o hacia el compartimento de transferencia (líquido extracelular) el cual también aporta pulmón. Los compuestos hexavalentes de uranio pasan de GI a compartimento de transferencia en un orden del 5% en tanto que los tetravalentes lo hacen en el 0,2%. Desde el compartimento de transferencia el uranio es eliminado por orina o depositado en hueso, riñones y en otros tejidos blandos. En consistencia con este último, distintas fracciones van a esqueleto, tejidos blandos y riñones.

El comportamiento de los compuestos de uranio en la incorporación sistémica está dada por las siguientes ecuaciones:

$$R_{\text{hueso}} = 0,2 e^{-(\ln 2/20)t} + 0,023 e^{-(\ln 2/5000)t}$$

$$R_{\text{otros tejidos}} = 0,24 e^{-(\ln 2/6)t} + 1,04 \cdot 10^{-3} e^{-(\ln 2/1500)t}$$

Los tiempos que figuren en las ecuaciones están tomados en días y representan el período de semidesaparición biológico.

Si bien $r(t) = R(t) e^{-\ln 2/T}$, debido a los largos períodos de semidesintegración de los uranios, se toma $r(t) = R(t)$.

La variación temporal de la retención en la incorporación sistémica es debida a la excreción, en el caso de incorporación única, por lo tanto, $\frac{-dR(t)}{dt} = Y(t)$, siendo $Y(t)$ la ecuación de excreción total.

Para el caso de los compuestos de uranio, que prácticamente son eliminados en su totalidad por orina, resulta la función de excreción total igual a la urinaria $Y_u(t)$:

$$Y_u(t) = 1,2 e^{-2,3t} + 0,028 e^{-0,12t} + 6,9 \cdot 10^{-3} e^{-0,03t} \\ + 4,8 \cdot 10^{-7} e^{-4,6 \cdot 10^{-4}t} + 3,2 \cdot 10^{-6} e^{-1,4 \cdot 10^{-4}t} \quad (\text{expresado } t \text{ en días})$$

3) INCORPORACION UNICA Y CRONICA

Las condiciones de trabajo hacen que la posibilidad de incorporación sea simple o crónica, y por lo tanto se establecen dos tipos de muestreo: a) especiales o no rutinarios y b) rutinarios. a) Cuando existe riesgo sospechado o conocido de incorporación única pudiéndose estimar la fecha probable de incorporación, es posible estimar el valor de la incorporación.

Para estos casos se define un nivel de incorporación (NI) igual a 1/10 del límite anual de incorporación (ALI) que sirve para extrapolar las posibles eliminaciones, (NID=Nivel de incorporación derivado) postulando distintos tiempos de muestreo. Estos valores (NID) son comparados con el límite de detección de la técnica elegida. En caso de que el límite de detección resulte inferior al nivel de investigación derivado para un período de tiempo t, nos permite aceptar como válido ese tiempo t máximo de validez de un muestreo.

b) En condiciones de exposiciones frecuentes se justifica la realización de muestreos rutinarios, ante la posibilidad de incorporaciones crónicas o sucesivas de material radiactivo. El límite de investigación se determina de acuerdo a la transferibilidad del compuesto con el criterio del caso anterior, tomando $N1 = 0,3 \times ALI/n$, siendo n el número de muestreos anuales. Comparando el límite de detección de la técnica a emplear con el nivel de investigación derivado, se arriba al período de muestreo óptimo.

($LD_{\text{técnica}} \text{ NID}$).

4) TOXICIDAD QUIMICA

A causa de sus propiedades químicas y radiactivas, el uranio puede ejercer doble efecto sobre el organismo humano; como metal pesado puede ser químicamente tóxico y como isótopo radiactivo pue

de dañar células y tejidos. La toxicidad química es el efecto predominante del uranio natural transferible. En la medida que aumenta su enriquecimiento para los isótopos ^{234}U y ^{235}U y sus características de compuesto lo hacen menos transferible, se favorecen los efectos de la radiación en forma preponderante.

Como muestra del efecto toxicológico, veamos que la actividad de algunas enzimas puede ser deprimida en órganos del cuerpo como riñones. Por ejemplo, la inhibición de la actividad enzimática de las células tubulares de riñón se produce por la acción del ión uranilo. Este hecho puede llevar a daño renal. Al mismo tiempo el uranio natural depositado en hueso, muestra que la intensidad de la radiación es demasiado baja para producir serios daños en células radiosensibles de hueso.

Por otro lado, una vez que ha pasado el primer período posterior a la contaminación, el uranio altamente enriquecido muestra que las células de la superficie de hueso y la médula ósea son sensibles al daño por su radiación. En este mismo sentido se debe tener en cuenta que cuando los compuestos de uranio son inhalados, aquellos menos transferibles como UO_2 y U_3O_8 , son retenidos en pulmón por períodos de tiempo relativamente largos, exponiendo sus tejidos a la radiación que emiten.

La ingestión de uranio es menos peligrosa debido a su baja absorción.

5) DETERMINACION DE URANIO EN CASOS DE CONTAMINACION INTERNA

Para la determinación de uranio han sido utilizados distintos tipos de métodos que van desde mediciones en vivo (directos) hasta las mediciones a través de excretas (indirectas). Las primeras están solo indicadas cuando existen altos niveles de incorporación. Las mediciones indirectas son más usuales debido a su bajo límite de detección y a la facilidad de la obtención de la excreta.

a) DETERMINACION FLUORIMETRICA DE URANIO EN ORINA

TECNICA

1) Materiales:

Cazoletas de Pt de 12,5 mm de diámetro
Fluorímetro para sólidos
Lámparas de infrarrojo
Mecheros tipo Fischer grandes
Micropipetas de 50, 100, 150 y 200 ul

Reactivo:

Fluoruro de sodio p.a.

Solución:

Estándar de uranio

2) Procedimiento:

- a) Se pipetea 0,2 ml de las muestras de orina homogeneizadas en las cazoletas de Pt.
- b) Se evaporan hasta sequedad bajo lámpara infrarrojo.
- c) Se coloca en cada cazoleta aproximadamente 200 mg de FNa p.a.
- d) Se ordenan las muestras sobre un enrejado de alambre Kanthal A₁ y se funden sobre mecheros Fischer grandes, durante aproximadamente 5' hasta lograr una fusión completa a una temperatura de 1000°C.
- e) Se dejan enfriar y se efectúa la lectura en un fluorímetro para sólidos.

3) Curva de calibración:

Se pipetea 0,05, 0,10, 0,15 y 0,20 ml de la solución estándar de uranio en cazoletas y se agregan 0,200 ml de orina sin contaminar. Cada punto se realiza por duplicado.

Simultáneamente se pipetea 0,200 ml de orina sin contaminar para tener valores de blanco.

Se confecciona un gráfico que representa la concentración de uranio por litro en función de las lecturas, obteniéndose una respuesta lineal.

Se calcula la pendiente de la recta.

El límite de detección de este método es de 7,5 µg U/día.

4) LAVADO DE LAS CAZOLETAS DE PLATINO

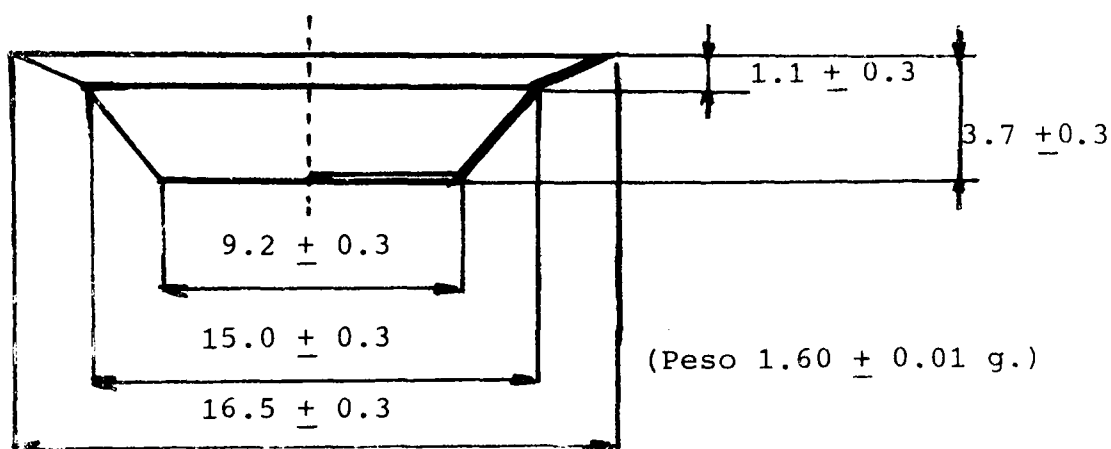
Se lavan inicialmente con agua caliente para disolver las pastillas de FNa. Después de un lavado cuidadoso para eliminar totalmente el fluoruro, se calientan a ebullición nuevamente en NO_3H diluido 1:2.

Las cazoletas se enjuagan luego con agua destilada y se secan sobre mecheros Fischer.

Una vez frías se controlan en el fluorímetro para asegurar la eliminación de toda fluorescencia extraña al platino mismo.

Si hubiera quedado contaminado, se funden con bicarbonato de sodio y se repiten los lavados anteriores hasta la desaparición de la misma.

ESQUEMA DE LAS CAZOLETAS DE PLATINO



Las medidas se expresan en mm.

5) CALCULO DE LA ELIMINACION DIARIA

Se efectúa lo siguiente:

- Divisiones muestras - divisiones blanco = divisiones reales de la muestra.
- Divisiones reales muestra x pendiente de la curva de calibración = $\mu\text{g U}$ de la muestra.
- Considerando que se eliminan 1400 ml de orina diaria:
$$\mu\text{g U/muestra} \times \frac{1,4 \text{ ml/día}}{0,2 \text{ ml}} = \mu\text{g U/día}$$

6) CORRECCION POR ELIMINACION DE CREATININA

Se calcula de la siguiente manera:

- $$\frac{\mu\text{g U/día}}{\text{mg creatinina/día}} = \mu\text{g U/mg creatinina}$$

$$b) \frac{23,3 \text{ mg creatinina}}{\text{Kg} \times \text{día}} \times P \text{ (Kg)} = \text{mg creatinina/día}$$

Siendo: P (Kg) el peso del individuo en kilogramo
y 23,3 el valor de mg. de creatinina que elimina un individuo normal por kilogramo de peso en un día.

$$c) \mu\text{g U/día creatinina} \times \text{mg. creatinina/día} = \\ = \mu\text{g U/día}$$

B) MINERALIZACION POR VIA HUMEDA DE LA ORINA

Con el fin de acondicionar las muestras de orina a fin de practicar su posterior análisis de uranio, ya sea porque se trata de uranio enriquecido o porque se encuentra presente en mezcla de radionucleídos, se realiza el siguiente procedimiento:

- 1) Se someten a digestión 100 ml de orina con 10 ml de NO_3H p.a. y 1 ml de solución de PO_4HCa (100 mg/ml) sobre plancha calefactora durante 60 minutos, a temperatura cercana a los 80°C .
- 2) Se precipitan los fosfatos por agregado de NH_4OH hasta $\text{pH} = 10$, con agitador magnético.
- 3) Se deja en reposo por lo menos 4 horas y se separa el sobrenadante por centrifugación a 2000 r.p.m. durante 10 minutos.
- 4) Se mineraliza el precipitado hasta cenizas blancas sobre plancha calefactora con mezcla oxidante de NO_3H p.a. y H_2O_2 p.a. de 100 volúmenes.
- 5) Se disuelven las cenizas de acuerdo a la técnica con que se continúe el análisis.

Al iniciar el proceso de digestión se preparan conjuntamente dos blancos con orina sin contaminar y dos rendimientos con orina más el agregado de cantidad conocida de patrón de uranio.

C MEDICION DE PEQUEÑAS CANTIDADES DE URANIO

En determinadas condiciones, el límite de detección de 5 ug de U/l resulta insuficiente, especialmente en los casos de uranio natural no transferible y uranio enriquecido transferible.

En el primer caso es factible realizar un seguimiento del trabajador en base al análisis de la eliminación urinaria a través del tiempo. En el segundo caso, los niveles de investigación derivados no son muy limitantes para incorporaciones únicas. Por estos motivos, una orina tratada como se indica en el punto B, puede ser leída por fluorimetría cuando es retomada en 10 ml de C1 H 5M. El factor de concentración se limita a 10 para el uranio, en las condiciones descriptas, dado que en la muestra se produce un aumento simultáneo de otros iones presentes en la orina, que al pasar ciertos límites, interfieren la medición fluorimétrica.

CALCULO DE LA ELIMINACION DIARIA

Las mediciones se realizan acompañadas por una curva patrón.

$$\text{Eliminación} = \frac{(\text{DM} - \text{DB}) \times \text{P} \times 700}{\text{R}} \text{ ugU/día}$$

DM = Divisiones de la muestra

DB = Divisiones del blanco

P = Pendiente de la curva ug/división

R = Rendimiento químico del método

700 = Factor de concentración y eliminación diaria $\frac{1400 \text{ ml}}{10 \times 0,2 \text{ ml/día}}$

El límite de detección es de 0,5 $\mu\text{gU/l}$. que representa una actividad aproximada de 25 pCi de ^{234}U en el uranio enriquecido al 90%.

DETERMINACIONES ALFA TOTAL

En la medida que se tengan datos ciertos de la procedencia de la actividad alfa, éste dato resulta de utilidad.

D₁) La orina mineralizada como se indica en A y retomada con 10 ml de ClH 5M puede ser evaporada sobre vidrio de reloj y secada con lámpara infrarroja para luego ser leída en cámara negra con centellador S Zn (Ag).

El depósito de sales producido sobre vidrio de reloj, favorece la autoabsorción alfa, la que limita la sensibilidad del método. El límite de detección es cercano a 0,2 pCi/l. para lecturas de 1 hora.

D₂) Alternativamente la muestra mineralizada puede ser retomada en 10 ml. de Cl H 1 M, llevada a un vial de centelleo líquido y extraída con 2 ml. de solución centelladora extractante durante 1 minuto. Una lectura de 50 minutos en equipo de centelleo líquido por discriminación por forma de pulso provee un límite de detección de 500fCi/l de orina para la técnica descripta. Esto permite determinar actividad alfa total a fin de comparar con el nivel de investigación derivado en orina para uranio enriquecido no transferible (0,5 pCi para muestreo semanal).

MEZCLA CENTELLADORA EXTRACTANTE

Acido di 2 etil hexilfosfórico...	161 g.
Naftaleno.....	80 g.
PPO.....	5 g.
Tolueno c.s.p.....	1000 ml.

E) DETERMINACION DE URANIO ENRIQUECIDO

Cuando se sospecha una mezcla de radionucleidos o bien cuando se desea hacer un seguimiento de un individuo en caso de contaminación por uranio enriquecido no transferible a fin de determinar el grado de contaminación a través de la orina, se procede a su separación cromatográfica o su extracción por solventes.

Los niveles de investigación derivados para orina, a los 5 días están en el orden de 1 dpm.

TECNICA

A un vaso de precipitado de 500 ml. se le agregan 250 ml. de orina y se le efectúa la mineralización por vía húmeda hasta cenizas blancas.

Se arma la columna cromatográfica agregando 1,5 g, de microthene más 1,5 ml de TOPO (tri octil fosfina) 0,5M en ciclohexano, con ayuda de $\text{NO}_3 \text{ H } 4\text{M}$. El residuo seco de orina mineralizada se retoma en 5 ml de $\text{NO}_3 \text{ H } 4 \text{ M}$ y se pasa por columna. Se lava la columna con 30 ml. de $\text{NO}_3 \text{ H } 4\text{M}$ a un flujo de 1 ml/minuto.

Se eluye el uranio con 30 ml. de $\text{HF } 1\text{M}$ a un flujo de 1 ml/minuto. Se lleva a seco el eluido y se retoma en $\text{NO}_3 \text{ H } 4\text{M}$ para ser leído por cualquiera de las técnicas descriptas.

F) DETERMINACION DE URANIO EN MATERIA FECAL

Durante los días inmediatos a una incorporación de uranio no transferible, la que puede ser detectada cuando es única, por muestreo de la región nasofaríngea, se confirma su magnitud por determinación de uranio en materia fecal colectada durante los primeros días inmediatos a la incorporación.

F₁) El muestreo de inhalación de uranio no transferible se puede realizar mediante soplado nasal sobre papel de filtro cualitativo, que resulta de fácil mineralización, o sobre hisopos de algodón embebidos en solución fisiológica.

Las muestras se mineralizan por vía húmeda con NO_3H - H_2O_2 o muflado a temperatura próxima a los 500°C . El residuo se retoma en 2 ml. de NO_3H 4M y se evapora con lámpara infrarroja sobre vidrio de reloj con medición en cámara negra con centellador SZn (Ag).

F₂) Ante un resultado positivo del muestreo por soplado nasal, conviene estimar la incorporación a través de su eliminación fecal.

La mineralización se consigue agregando a la muestra en un vaso de 1000 ml., 100 a 200 ml de NO_3H 8M y llevando a sequedad sobre plancha calefactora, cuidando que no desborde. Se continúa con NO_3H - H_2O_2 y posterior muflado a temperatura no mayor de 500°C .

Luego se continúa con humectación de las cenizas con NO_3H 6M - FH 6M y muflado alternado. Se humecta con NO_3H 8M y evapora a baja temperatura.

La redisolución se logra con 10 ml. de ClH 1M. Las cenizas se eliminan por centrifugación y se mide la contribución alfa con el cóctel centellador a base de HDEHP descripto anteriormente.

Cuando la masa de uranio es suficiente para el límite de sensibilidad de la fluorimetría, puede ser medido selectivamente.

F₃) En la medida que existan interferentes, se logra la separación del uranio mediante la cromatografía de fase invertida TBP/ClH, para lo cual las cenizas son retomadas con ClH 6,5M y luego centrifugadas.

SEPARACION DE URANIO POR CROMATOGRAFIA DE FASE INVERTIDA

En esta técnica se produce interferencia por fosfatos, por lo tanto resulta aconsejable para determinación de uranio en muestreos de materia fecal.

APARATOS

- Detector de centelleo líquido de bajo fondo
- Plancha de calentamiento de laboratorio
- Viales de centelleo
- Columna cromatográfica de 0,7 mm de $\varnothing$ interno y 30 cm. de longitud con llave de teflón
- Lana de vidrio

REACTIVOS

- Microthene 710
- Tributyl fosfato
- C1H 6,5M
- $\text{C10}_4\text{H}$ 0,2M
- NO_3H concentrado/agua oxigenada
- Solución extractante centelladora

PROCEDIMIENTO

El armado de la columna se consigue taponando la parte inferior con lana de vidrio e introduciendo el microthene (4g) con 2ml de TBP previamente mezclados y suspendidos con C1H 6,5M. Se taponan la parte superior con lana de vidrio. La muestra a procesar debe ser mineralizada por vía húmeda como se describió en F.2. Se retoma el residuo con 1 ml. de C1H 6,5M, y se siembra en la columna cromatográfica de TBP/ C1H 6,5M y se eluye 1 ml. Se lava el vaso de precipitación con 1 ml. de C1H y se vuelve a sembrar, con elución de otro ml. Se lava sucesivamente la columna con 20 ml. de C1H 6,5M* y luego con 20 ml. de C1H 6,5M + FH 0,05M y finalmente con 6,5 ml. C1H 6,5M, manteniéndose el flujo de 1 ml./minuto. La elución del uranio se realiza con 25 ml. de agua destilada. Se evapora el eluido y se retoma en 10 ml. C1H 0,05M. Se pasa a un vial de centelleo líquido al que se le agregan 2 ml. de extractante descripto en el punto D₂.

(*) En algunos cristales de clorhidratos de hidroxilamina.

(1) Está especialmente indicada cuando hay contaminación adicional de Pu.

G) DETERMINACION DE CREATININA EN ORINA

INTRODUCCION

En el laboratorio se usa la medida de creatinina, como índice para conocer el volumen de orina eliminado durante el día.

A diferencia de la excreción urinaria de Na^+ , Cl^- , Ca^{++} , $\text{PO}_4^{=}$, $\text{SO}_4^{=}$ y urea, que están sujetos a fluctuaciones, la creatinina tiene un valor prácticamente constante para cada individuo. Esto se debe a que la creatinina (anillo cíclico de la creatina) se produce durante el trabajo muscular. Su excreción no depende en sí de la actividad física, ya que solamente se ve aumentada ligeramente después de un ejercicio violento, pero sí de la masa muscular. Tampoco se ve modificada por cambios en la dieta.

Conociendo la masa muscular del individuo y la cantidad de creatinina eliminada, podemos calcular el volumen de orina de ese día.

El método se basa en la medida colorimétrica del cromógeno rojo que se forma por reacción de la creatinina con el picrato alcalino. La creatinina tiene la propiedad de reducir el ácido pícrico llevándolo a ácido picrámico, el cual en solución alcalina toma color rojo anaranjado, cuya intensidad es comparable con testigos de creatinina pura.

TECNICA

Reactivos

ClH p.a.
OHNa p.a.
Acido pícrico p.a.
Creatinina

Soluciones

ClH 0.1N = 8 ml. de ClH p.a + H_2O destilada c.s.p. 1000 ml.
OHNa 10 % = 100g OHNa p.a. - H_2O destilada c.s.p. 1000 ml.
Este reactivo debe guardarse en frasco de polietileno.
Solución saturada de ácido pícrico = 1.4.g. de ácido pícrico + H_2O destilada c.s.p. 1000 ml.
Picrato alcalino = Solución saturada de ácido pícrico 175 ml
OHNa 10% 55 ml
 H_2O destilada c.s.p. 1000 ml
Solución standard de creatinina de 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$ en ClH 0.1N
Creatinina 10 mg.
ClH 0.1N c.s.p. 100 mg.

Esta solución es estable durante un mes si se mantiene en refrigerador. Pueden agregarse unas gotas de tolueno como preservador.

Procedimiento

- a) Se pipetea 2 ml. de orina en un matraz aforado de 100 ml y se llevan a ese volumen con agua destilada.
- b) De esa solución se toma 1 ml. y se coloca en tubo de ensayo.
- c) Se agregan 1 ml. de agua destilada y 5 ml. de picrato alcalino, se agita para lograr una homogeneización total.
- d) A los 20 minutos se lee a 520 nm (en espectrofotómetro)
- e) Se emplea como blanco 2 ml. de agua destilada y 5 ml. de picrato alcalino.
- f) Se construye una curva de calibración con solución standard de creatinina en el rango de 0 a 100 μ g graficando lecturas en función de los μ g egresados.

Una vez verificada la linealidad de la función para dicho rango de concentraciones, se interpolan en él las lecturas halladas para las muestras.

Cálculo

mg de creatinina/ml de orina

Se procede de la manera siguiente:

- 1) Lectura X pendiente de la curva = μ g de creatinina/ml. de la solución.
- 2) μ g de creatinina/ml. de solución x f = μ g de creatinina/ml orina donde f = 50 es el factor de dilución de la orina.
- 3) Se lleva el valor a mg creatinina/ml. de orina.

mililitros de orina eliminados por día

Sabiendo que:

$$23,3 \frac{\text{mg creatinina}}{\text{Kg. x día}} \times \text{peso del individuo en Kg} = \frac{\text{mg creatinina}}{\text{día}}$$

y conociendo los mg de creatinina/ml. orina podemos calcular:

$$\text{ml de orina/día} = \frac{\text{mg creatinina/día}}{\text{mg creatinina/ml orina}}$$

TRABAJO PRACTICO: DOSIMETRIA POR EMULSION FOTOGRAFICA

Introducción

El monitoreo personal de las dosis por radiación externa mediante dosímetros de emulsión fotográfica, denominados films monitores, permiten por sus características de respuesta en función de la energía, dependencia direccional, y amplio rango de respuesta en dosis, efectuar el reconocimiento del campo e inferir ciertas circunstancias de la forma en que se produjo la irradiación con un sólo elemento detector.

La reducción en los granos de bromuro de plata que forman la imagen latente de los iones Ag^+ a Ag^0 mediante el proceso de revelado y posterior fijado hacen que éstos últimos se manifiesten a través de la opacidad que le confieren a la emulsión, dando lugar al parámetro medible Densidad Óptica (D.O.) que se asocia con el campo de radiación.

Objeto del Trabajo Práctico

Determinación de la energía y dosis recibida por exposición en un campo gamma y x.

Tomar conocimiento de las técnicas de procesamiento en cuarto oscuro y evaluación densitométrica.

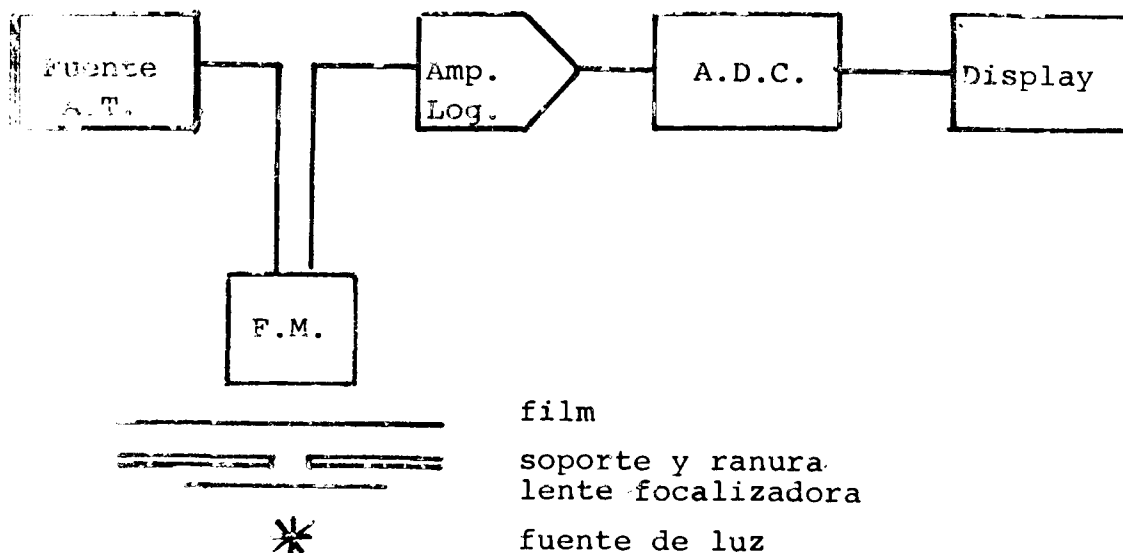
Descripción de Dosímetros y Equipos

El dosímetro de emulsión fotográfica empleado es Kodak Tipo 2 de doble emulsión.

El equipo de lectura de densidad óptica es un densitómetro por transparencia digital de Sistemas y Controles con un alcance de 3.00 en D.O.

Marcadora por impacto de números para identificación de placas reveladas. Para el revelado se dispone de cuarto oscuro con los siguientes elementos básicos: chasis para el transporte de films durante el procesamiento; bateas para las soluciones de revelado, fijado y lavado; termómetro y reloj para el control de la temperatura de los baños y tiempo de revelado; luz de seguridad.

Diagrama Esquemático del Densitómetro



Procesamiento

El procesamiento del film monitor se inicia con el marcado por impacto de dígitos para su posterior identificación.

El revelado, técnica mediante la que se transforman los granos de BrAg que forman la imagen latente para finalmente contribuir a la capacidad de la placa, se efectúa en los siguientes pasos, que debido a la sensibilidad de la placa a la luz, se debe realizar en cuarto oscuro.

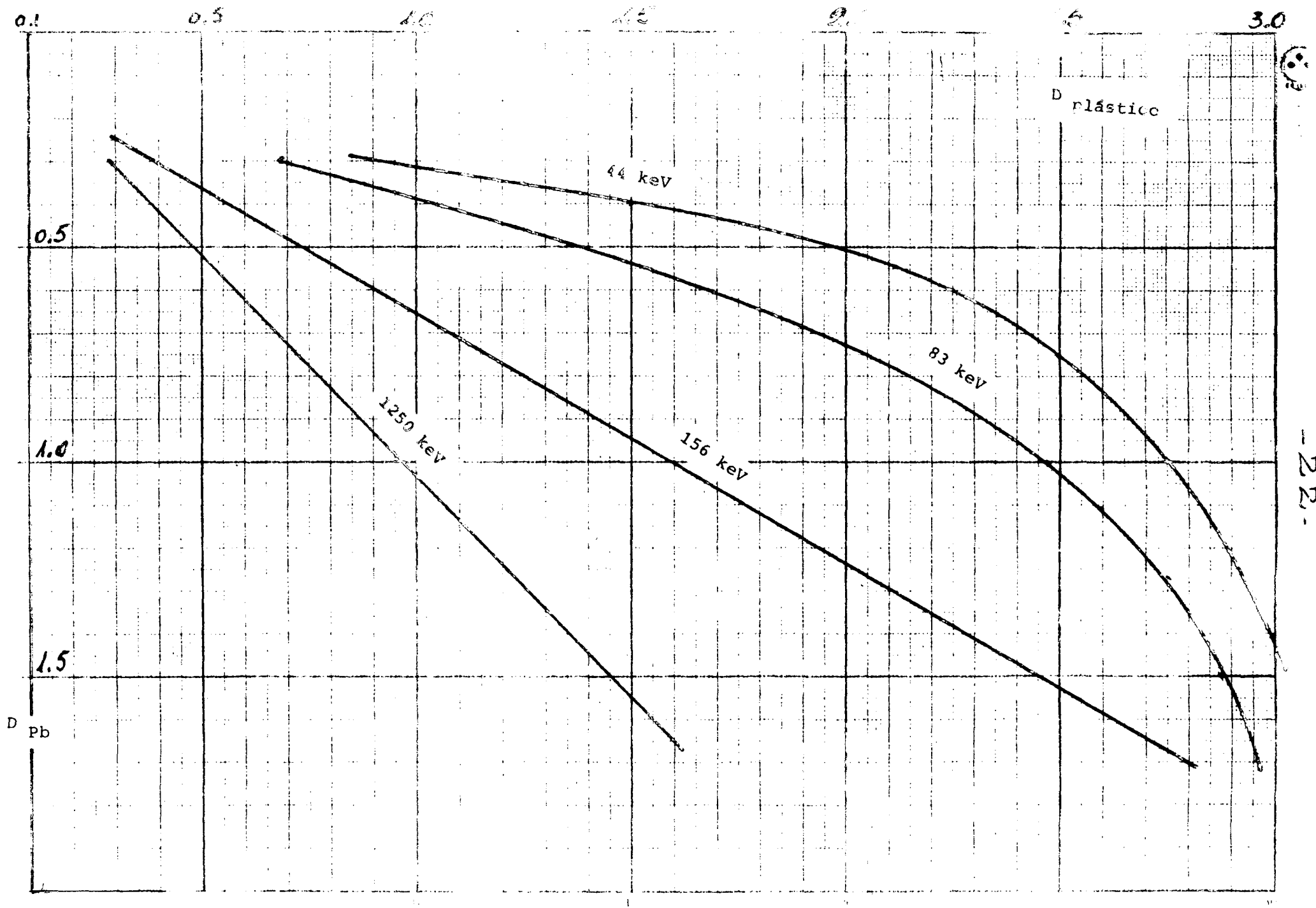
- Revelado: inmersión en baño revelador, cuya composición incluye NaOH e hidroquinina como agentes reductores, durante 5 min. a 16°C .
- Paro: enjuague durante dos minutos en agua corriente para detener el revelado.
- Fijado: inmersión durante 12 minutos a efectos de eliminar granos de BrAg que no fueron reducidos a Ag^0 , en una solución de hiposulfitos.
- Lavado: inmersión en agua corriente durante 45 minutos para eliminar todo residuo de los compuestos químicos utilizados en el revelado y fijado.
- Secado: por escurrimiento y evaporación.

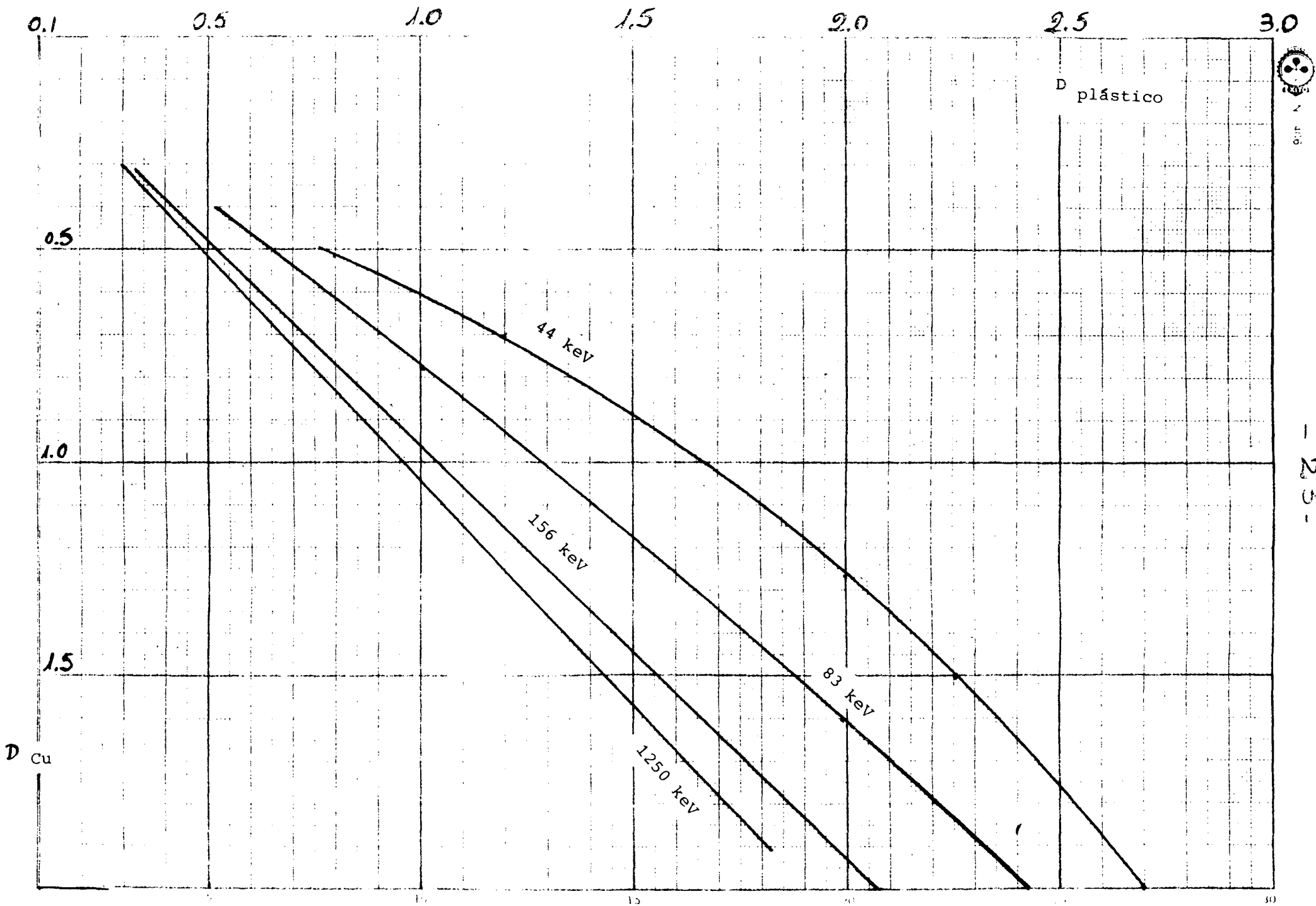
Evaluación

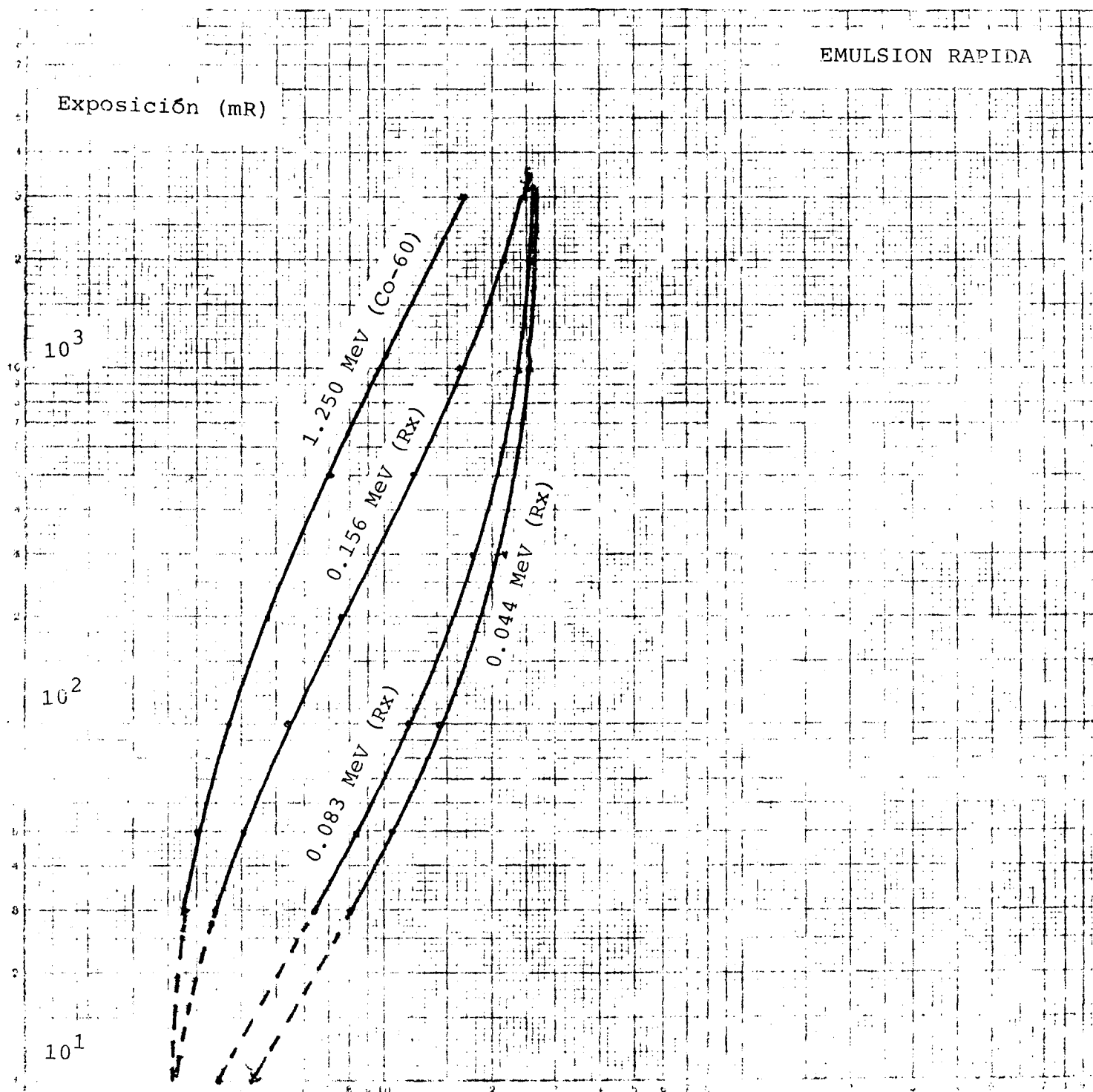
Finalizado el revelado se observan en las placas sometidas a irradiación, zonas con diferentes grados de ennegrecimiento que se corresponde con el grado de atenuación que sufrió el haz al atravesar los filtros metálicos incorporados al portadosímetro. Las lecturas densitométricas se toman en esas zonas y los valores obtenidos se llevan sobre el gráfico de la Fig 1 que relaciona la D.O. bajo cubierta de plástico y la D.O. bajo uno de los filtros para diversas energías. De esa forma el par de valores permiten estimar la energía del campo de radiación detectado de acuerdo a la proximidad a una de las curvas patrones con parámetro energía. La evaluación dosimétrica final se hace llevando el valor de D.O. bajo plástico hasta interceptar la curva de D.O. y Dosis de la Fig 2 para la energía determinada previamente, de donde en el eje de ordenadas se toma el correspondiente valor de dosis.

Desarrollo de la Práctica

- Se procederá a la evaluación de la dosis incognita recibida por un film monitor con estimación previa de la energía.
- Reconocimiento visual del tipo de energía por medio del contraste que manifiestan las diferentes zonas.
- Observación de las posibilidades de identificación en la cobertura y el efectuado por impactado como facilidades de identificación de cada placa con el usuario.







D óptica

TRABAJO PRACTICO: Dosimetría por termoluminiscencia

Introducción:

Las principales sustancias utilizadas actualmente en dosimetría por termoluminiscencia son LiF, CaF_2 ; Dy, SO_4Ca : Dy y $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$. La elección de una de ellas depende del tipo de aplicación específica que se desee darle. Por ejemplo: calidad del campo de irradiación, rango de energía, nivel de dosis que se quiere medir, etc. La elección depende además de las condiciones intrínsecas del dosímetro, esto es: su respuesta con la energía, su decaimiento en función del tiempo, la linealidad de su respuesta, etc.

En este trabajo práctico se emplearán dosímetros de LiF: Mg, Ti y CaF_2 : Dy. Se trata de cristales de 3 x 3 x 0,9 mm obtenidos a través del compactado del fósforo puro. Poseen un peso de 22 mg.

Se han elegido estos 2 fósforos, dado que uno de ellos, el LiF TLD-700 es actualmente el dosímetro personal de mayor difusión mientras que el CaF_2 : Dy por su alta sensibilidad permite la detección de muy bajos niveles de radiación, pudiendo ser utilizados como dosímetro ambiental.

Objeto de trabajo práctico

- Determinación de la curva de respuesta en función de la dosis absorbida para dosímetros de LiF: Mg, Ti.
- Asignación de dosis.

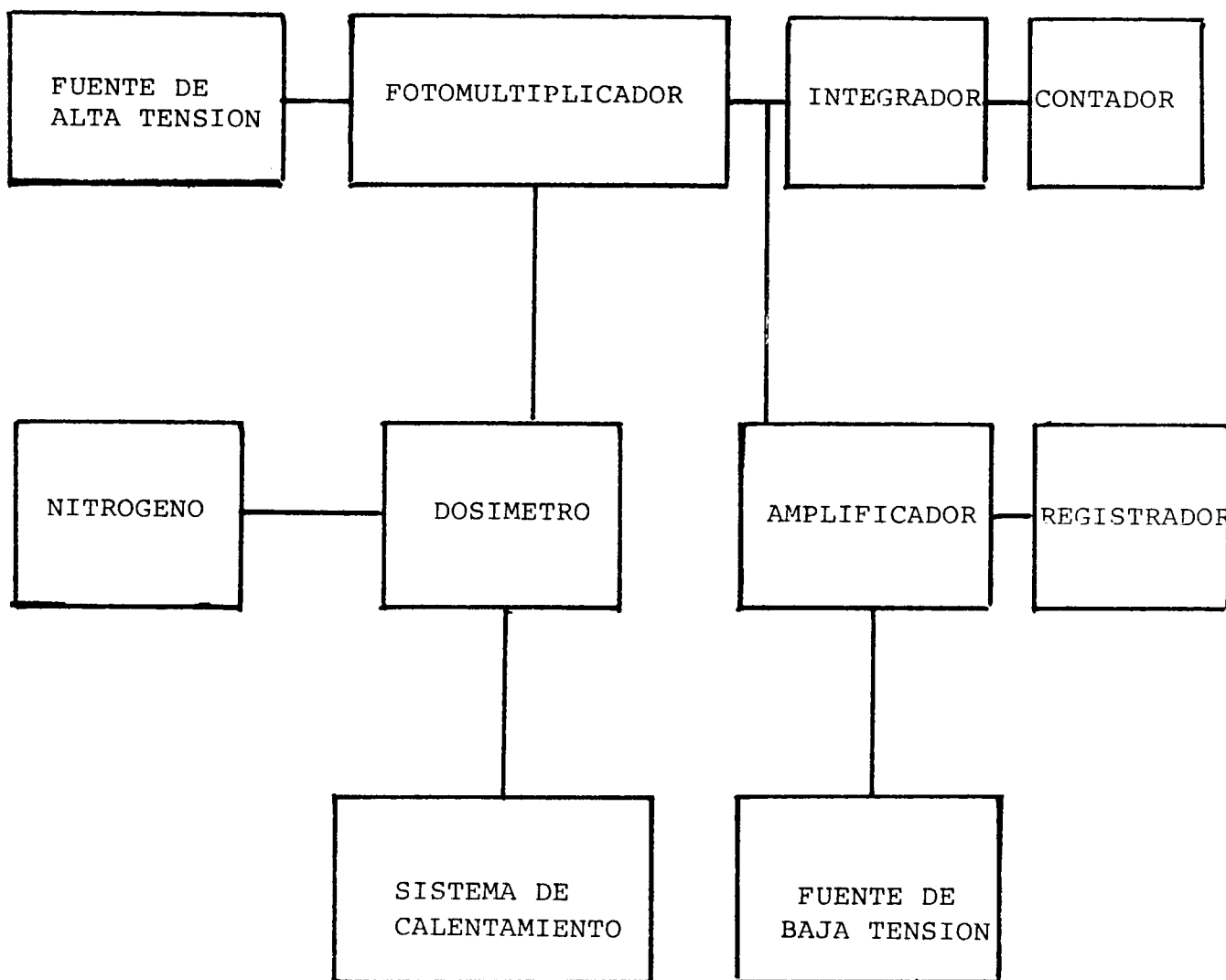
Equipos y dosímetros a utilizar

- Lector termoluminiscente Harshaw modelo 2000 A + B.
- Dosímetro de LiF TLD-700.

- Dosímetros de CaF_2 TLD-200
- Hornos para tratamiento térmico
- Nitrógeno de 99,99 % de pureza.
- Elementos de laboratorio: cajas de petri, termómetros, pinzas, fuentes de luz, etc.

Equipo lector termoluminiscente

Las mediciones serán realizadas con un equipo Harshwan, modelo 2000 A + B. El diagrama de bloque del equipo se indica a continuación:



El dosímetro se coloca sobre una plancheta de platino de alta resistencia. Esta unidad se introduce en el equipo mediante una corredera de tal forma que el dosímetro queda ubicado debajo del fotomultiplicador. A continuación se pone en funcionamiento un ciclo de lectura: circula corriente a través de la plancheta calentando indirectamente al dosímetro, durante un intervalo de 30 segundos pudiendo alcanzarse una temperatura máxima de 300°C. La luz emitida incide sobre el fotomultiplicador y la señal obtenida es integrada obteniéndose de esta forma un valor proporcional a la dosis absorbida.

Los parámetros que deben prefijarse antes de cada lectura son:

- Temperatura máxima
- Velocidad de calentamiento
- Tiempo de integración
- Tensión del fotomultiplicador
- Flujo de nitrógeno

Metodología experimental

Con el objeto de obtener la curva de calibración correspondiente a LiF TLD 700 y la comparación de sensibilidades, se procederá de la siguiente forma:

- a) Tratamiento térmico previo a la utilización de los dosímetros LiF-TLD-700 y CaF₂: TLD-200 1 h a 400 °C y 3 h a 100°C.
- b) Irradiación de los dosímetros con una fuente de ¹³⁷Cs.
- c) Precocido de los dosímetros 20min. a 100°C.
- d) Medición de los dosímetros.
- e) Cálculo de errores.
- f) Determinación de la curva de respuesta en función de la dosis absorbida para LiF-TLD-700.

Conclusiones

Luego de obtenerse la curva de calibración se deberán realizar las siguientes determinaciones:

- a) Determinación de los factores de calibración para LiF-TLD-700.
- b) Comparación de sensibilidad.
- c) Determinación de una dosis desconocida correspondiente a un dosímetro previamente irradiado.

CALIBRACION DE UN CONTADOR DE TODO EL CUERPO

Introducción

El laboratorio de mediciones en vivo, utiliza un Contador de todo el Cuerpo como sistema para determinar una eventual contaminación interna para controlar a los trabajadores ocupacionalmente expuestos.

Debe recordarse que la medida directa de contaminación interna no es posible en general, en el caso de nucleidos emisores de partícula alfa ó beta. Solo en casos muy particulares mediante "radiación de frenamiento", son detectables emisores beta de alta energía.

En las condiciones antes citadas es posible la determinación cualitativa y cuantitativa de la carga corporal.

Sistema de Medición

Compuesto por:

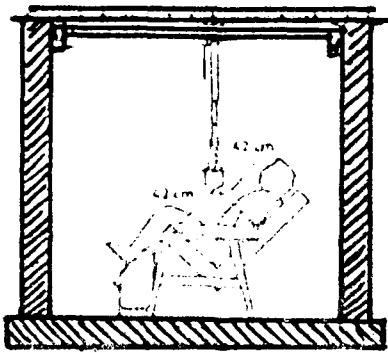
- 1) Recinto blindado de medición; dimensiones: 2) (L) x 1,5 (A) x 2 (H) metros construido con paredes de 15 cm. de hierro y recubiertas en su interior con 0,3 cm. de plomo y 0,03 cm. de cadmio a los efectos de reducir el fondo de radiación de baja energía.

Todos los materiales utilizados en la construcción fueron controlados para asegurar la ausencia de radioemisores. El peso total del recinto es de aproximadamente 40 Tn.

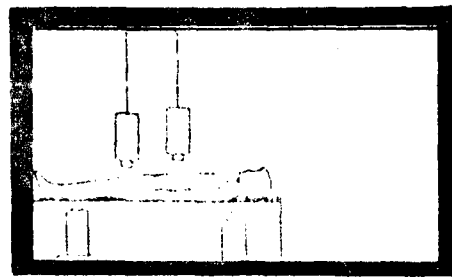
- 2) Existen distintas geometrías de medición en un Contador de todo el Cuerpo, esto da lugar en cada caso de una indeterminación en el empleo de un factor de calibración medio para individuos de igual estatura y peso, pero de distinta configuración anatómica.

Las distintas geometrías básicas son:

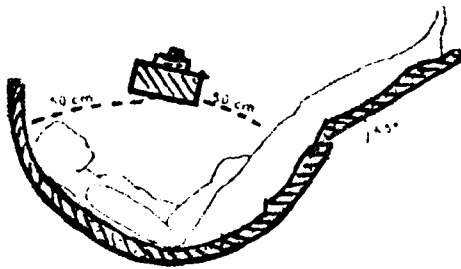
- a) silla
- b) arco
- c) con cristales múltiples



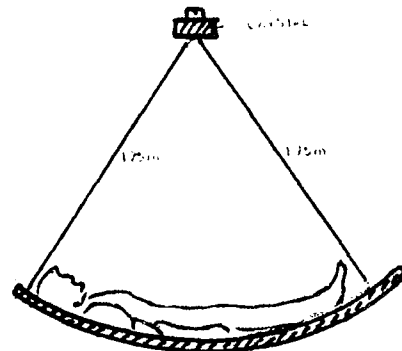
GEOMETRIA SILLA



DETECTORES MULTIPLES



GEOMETRIA ARCO-SILLA



GEOMETRIA ARCO

3) La detección se efectúa con centelladores inorgánicos de distintos tamaños, según sea el tipo de medición (distribución homogénea o geometría localizada), energía del emisor y sensibilidad requerida.

Actualmente se dispone de cristales de 6" x 4", 3" x 3", 2" x 2", phoswich, etc.

4) El equipo básico de detección se completa con un analizador multicanal, fuentes de alta tensión, teleimpresores para entrada y salida de datos, graficador, etc.

Características de la Medición:

Se adoptó para esta técnica la medición la geometría silla. Esta permite una alta eficiencia de detección, independiente de las dimensiones corporales del sujeto, ya que la función de conformación física (f), que forma parte del factor de calibración demuestra para la técnica descrita, la escasa variabilidad del mismo. La variación es mayor en sujeto del sexo femenino, a causa de la diferente conformación física.

$$f = \sqrt{\frac{\text{peso (gr)}}{\text{altura (cm)}}}$$

La calibración del sistema se efectúa suponiendo una distribución uniforme de la contaminación en el sujeto a medir, hipótesis que no es cierta en todos los casos, a excepción de algunos radionucleidos, tales como K^{40} , Co^{60} , Cs^{137} . En la calibración se utiliza un FANTOMA construido con recipientes dispuestos de manera tal de reproducir la silueta humana. Dichos recipientes contienen soluciones de actividades conocidas de radioisótopos de distintas energías. En el caso de contaminaciones internas uniformemente distribuidas, el factor de calibración puede ser calculado, fácilmente para cualquier nucleído.

Si se trata de distribución no uniforme, la técnica basada en la geometría silla no es la más adecuada, siendo en este caso necesaria la demarcación de la zona contaminada, calculándose el factor de calibración para esa geometría.

La demarcación de la zona contaminada se efectúa mediante un "barrido" a lo largo del sujeto a medir (scanning) con un detector colimado.

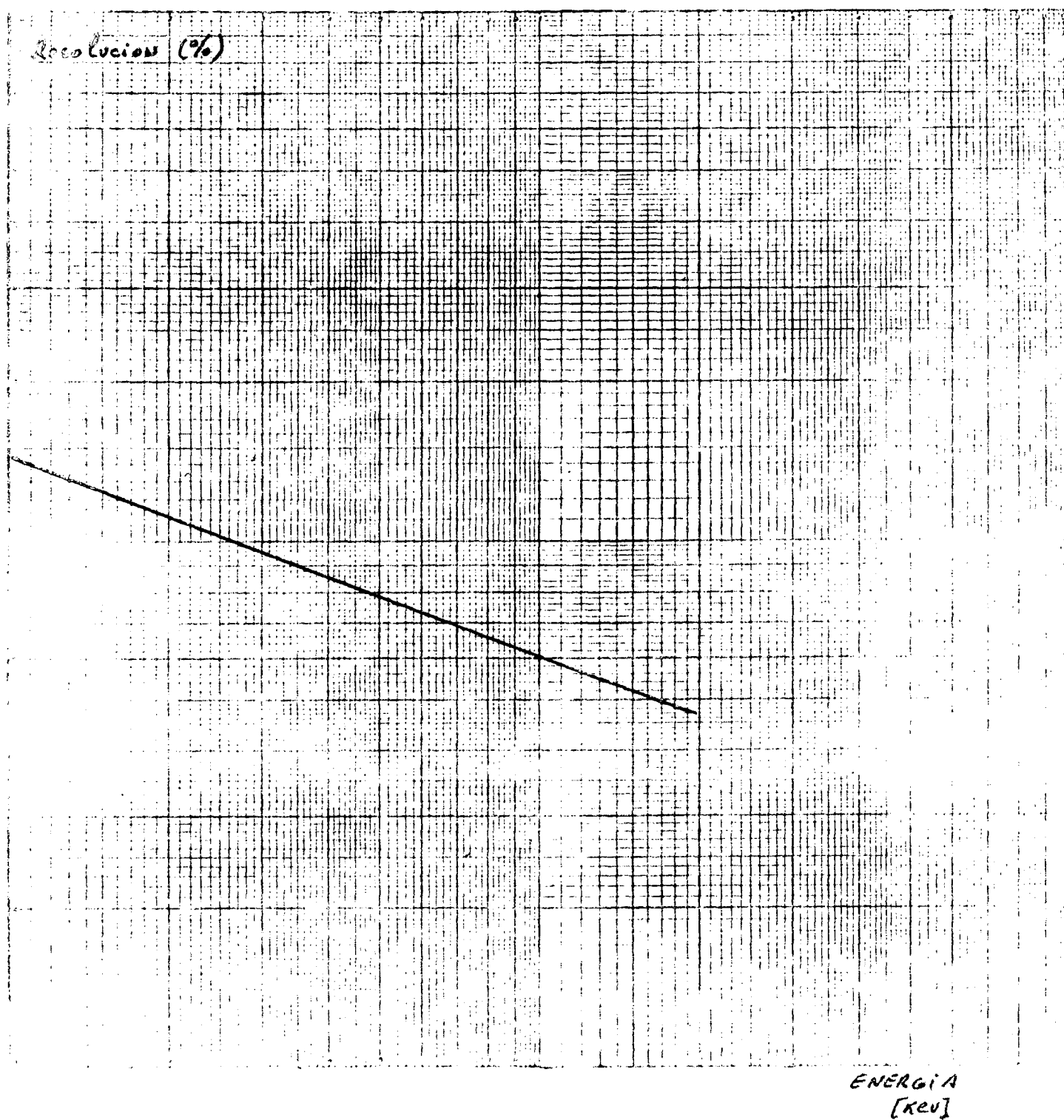
Como es habitual y de acuerdo a la resolución intrínseca de un detector de INa (Tl), es conveniente calibrar el sistema 5 ó 10 Kev/canal, lo que asegura además, mediante este factor, una rápida determinación cualitativa, especialmente en el caso de un gran número de radioisótopos de distintas energías.

Los gráficos de resolución y eficiencia, en función de la energía figuran en las páginas siguientes.

TRABAJO PRACTICO

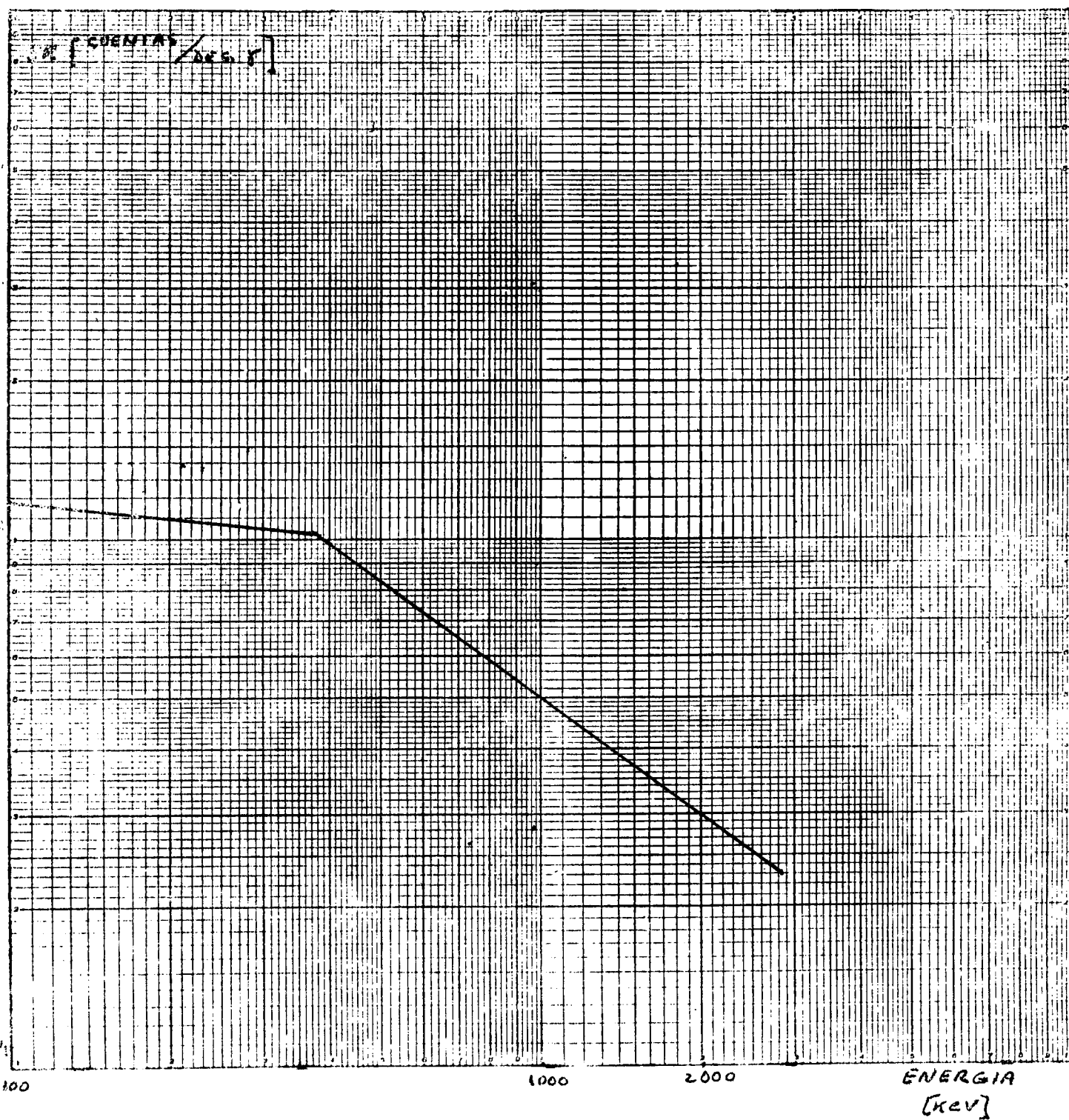
- 1.-Calibrar en energía un sistema para evaluar el contenido de K^{40} en una medición de todo el Cuerpo.
- 2.-Efectuar mediciones con un sistema para evaluación de I^{131} en tiroides.
- 3.-Demostración con un sistema phoswich de bajo fondo para mediciones de Pu^{239} y Am^{241} .

RESOLUCION EN FUNCION DE LA ENERGIA
DETECTOR $\text{IN}_2(\text{Te})$ 3" x 3"



EFICIENCIA EN FUNCION DE LA ENERGIA.

Geometria silla - Detector INa(Te) 3"x3"



INTRODUCCION AL MONITORAJE DE AREAS

La finalidad del monitoraje de áreas es evaluar las condiciones radiológicas del ambiente de trabajo a fin de verificar si se mantienen las condiciones establecidas en las bases de diseño de la instalación.

El presente trabajo práctico se desarrollará en la Planta de Producción de Radioisótopos de la C.N.E.A. en el Centro Atómico Ezeiza y su objetivo será lo siguiente:

- 1.-Monitorar campos de radiación X y γ con una cámara de ionización tipo BABYLINE 61A.
- 2.-Determinar niveles de contaminación superficial arrastrable mediante frote con papel de filtro en un área normalizada (900 cm^2) y posterior medición con un monitor portátil calibrado de radiación beta.
- 3.-Evaluar los valores de concentración de partículas radiactivas en el aire del ambiente de trabajo mediante muestreo con un filtro de carbón activado y posterior medición por espectrometría gamma.

Secuencia de trabajo

En los croquis adjuntos se indica una serie de puntos predeterminados en los cuales se efectuarán las mediciones, los cuales fueron elegidos en base a las tareas que normalmente se desarrollan en el área.

Los puntos en cuestión deben ser monitorados con una cierta frecuencia a fin de ir conociendo la evolución de los parámetros radiológicos (tasa de exposición, concentración de nucleídos en aire, contaminación superficial, etc.) de cada punto en función del tiempo. Para medir tasa de exposición (o de dosis) es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones,

- medir siempre en el mismo punto a la misma altura.
- tener en cuenta la presencia de objetos cercanos.
- medir con el monitor previamente estabilizado y recalibrado.

Para medir los niveles de contaminación las consideraciones son:

- emplear guantes plásticos descartables.
- tomar siempre superficies de muestreo normalizadas (v.g., 900 cm^2)
- colocar el papel de filtro a cierta distancia del detector (v.g., 1 cm) a fin de no contaminarlo.

REGLAMENTO PARA VISITAS A LA ZONA CONTROLADA

1.-Generalidades

Los visitantes pueden entrar en zona controlada con la autorización simultánea del Departamento de Seguridad y Radioprotección y del Jefe de Turno.

La visita se efectúa acompañado de un guía, que únicamente puede ser el personal provisto de credencial para visitas. Un guía no podrá llevar al mismo tiempo más de 12 visitas. No podrá haber simultáneamente dentro de zona controlada más de 20 visitantes. Las indicaciones del guía se cumplirán incondicionalmente. El visitante tiene prohibido realizar cualquier clase de trabajo dentro de zona controlada.

La visita a zona controlada se efectuará bajo riesgo y responsabilidad del visitante.

2.-Comportamiento dentro de zona controlada

a) Prohibiciones básicas en zona controlada:

Dentro de la zona controlada está prohibido comer, beber, fumar y aplicarse productos cosméticos.

No se introducirán comestibles en zona controlada.

No pueden ingresar a zona controlada, menores de 18 años, mujeres en estado de gravidez o que amamanten, lo mismo que personas con erupciones cutáneas o heridas abiertas.

b) Pautas para el comportamiento en zona controlada:

Los visitantes no se alejarán del guía más allá del alcance de la palabra hablada y acatarán sus indicaciones en el acto.

Se evitará, dentro de lo posible, todo contacto con partes de la instalación u otros objetos.

Además ha de abstenerse de: levantar polvo, pisar en charcos de agua, darse la mano y retirar cualquier objeto de zona controlada.

No debe entrarse en zonas clausuradas por Radioprotección, lo mismo que a recintos provistos de carteles de aviso.

EZEIZA:

SOLICITUD INGRESO ZONA CONTROLADA

NOMBRES Y APELLIDO:

DOCUMENTO DE IDENTIDAD:.....

FIRMA A LA QUE PERTENECE:

FECHA DE NACIMIENTO:

Por la presente acuso recibo del "Reglamento para Visitantes", certifico haberlo leído comprometiéndome a su riguroso cumplimiento.

FIRMA

Se autoriza el ingreso a zona controlada desde la fecha y hasta
.....

JEFE DE TURNO:

PARA USO DE RADIOPROTECCION

ACOMPAÑANTE DE LA VISITA:.....

FILM N° :.....

.....
OFICIAL DE RADIOPROTECCION

INFORME DE INSPECCION

- 1) INSTALACION:
.....
- 2) FECHA DE INSPECCION:
- 3) INSPECTORES:.....
.....
- 4) EQUIPOS UTILIZADOS:.....
.....
- 4.1. Tasa de dosis
- 4.1.1. Marca:
4.1.2. Modelo:
4.1.3. Rango de Energía:
4.1.4. Límite de detección:
- 4.2. Contaminación Superficial
- 4.2.1. Marca:
4.2.2. Modelo:
4.2.3. Sonda:
4.2.4. Calibración:
4.2.5. Energía Mínima:
4.2.6. Límite de detección:
- 5) PERSONAL ENTREVISTADO:

.....
.....
.....
.....
.....
- 6) SIMBOLOGIA UTILIZADA



Blindaje de plomo.



Muestra utilizada para detectar contaminación superficial de una superficie igual a 900 cm² (en lugares de trabajo).



P

Idem anterior en pisos.



Punto de monitoraje de la tasa de dosis tomada a una altura de 1,20 del piso (torax).



G

Idem anterior, a 0,80 m de altura del piso a 1 m horizontal de la referencia; (Gónadas).

EQUIPOS DE MEDICION

MARCA: -----

MODELO: -----

CLASE: -----

PUENTE DE ALIMENTACION:-----

RANGO DE ENERGIA: -----

RANGOS DE MEDICION: -----

TEMPERATURA DE OPERACION: -----

ERROR DE INSTRUMENTO: -----

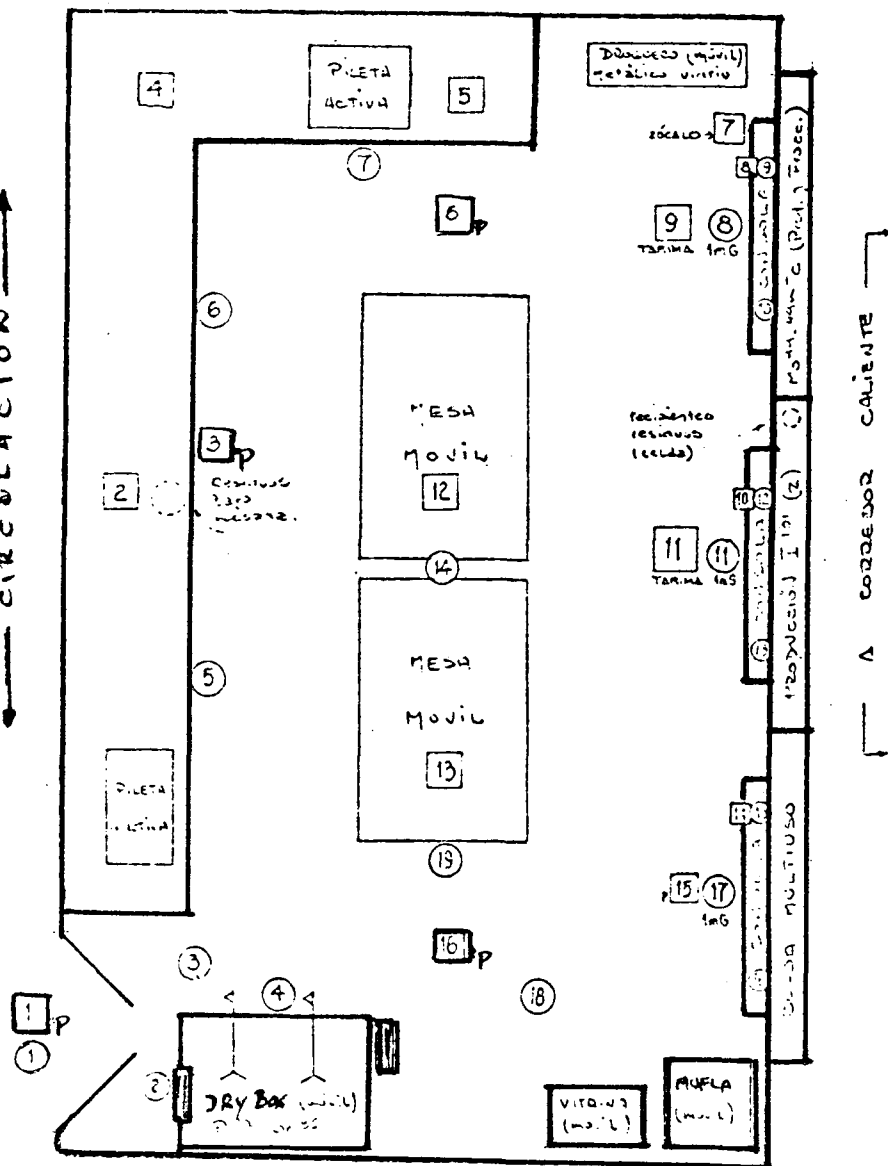
FECHA DE CALIBRACION: -----OPERADOR: -----

SONDAS:

MODELO	TIPO DE RADIACION	RANGO DE ENERGIAS	ERROR DEL INSTRUMENTO	SUPERFICIE	CALIBRACION

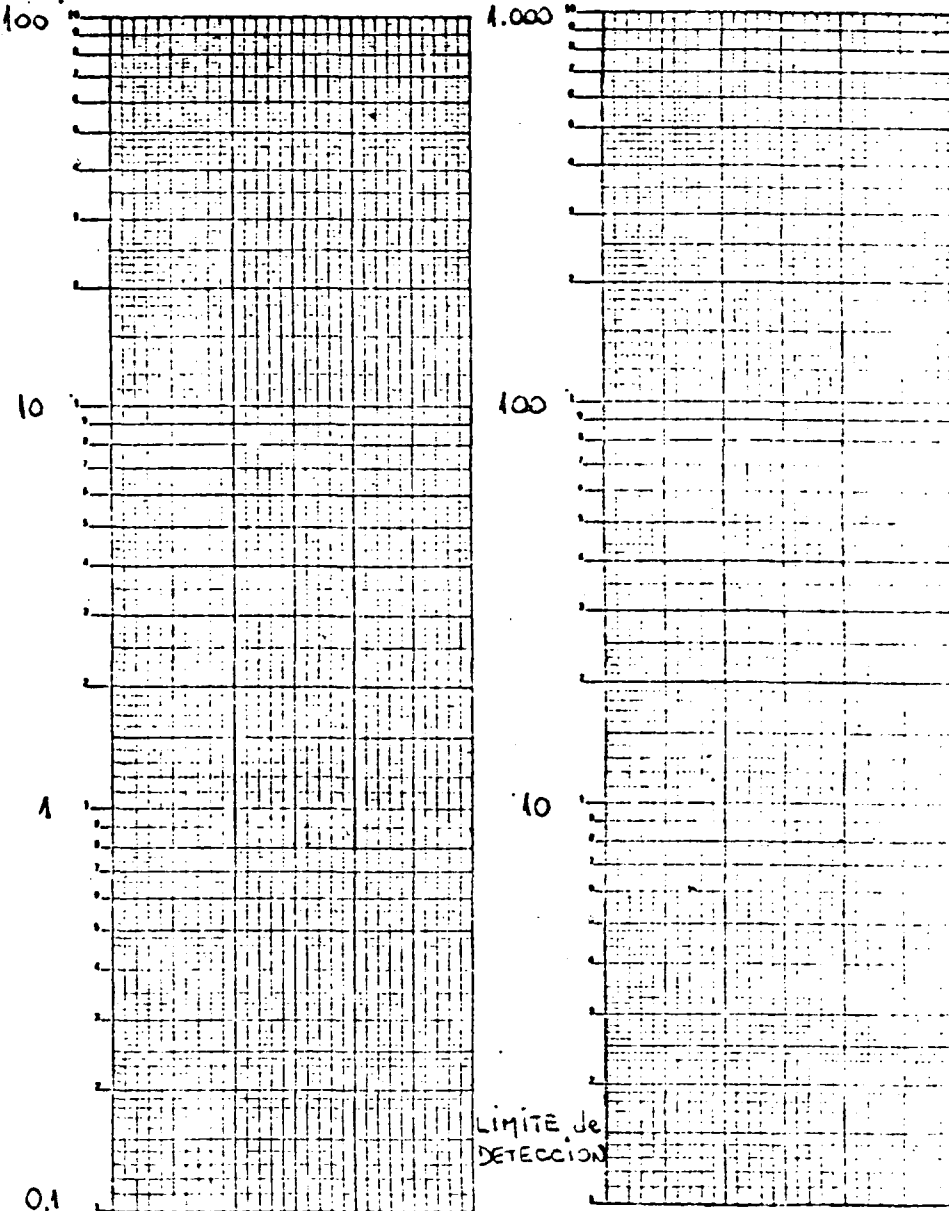
OBSERVACIONES: -----

—CIRCULATION—



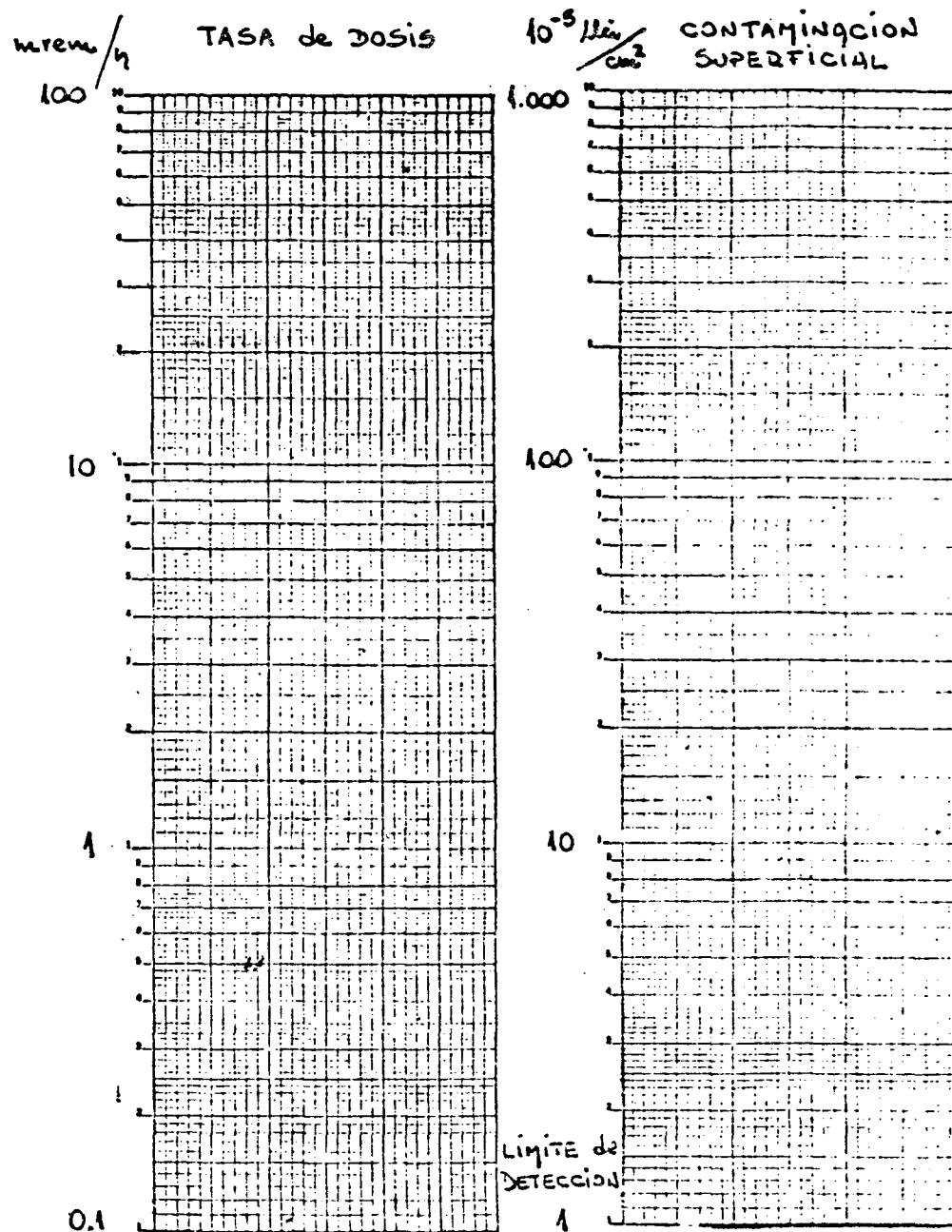
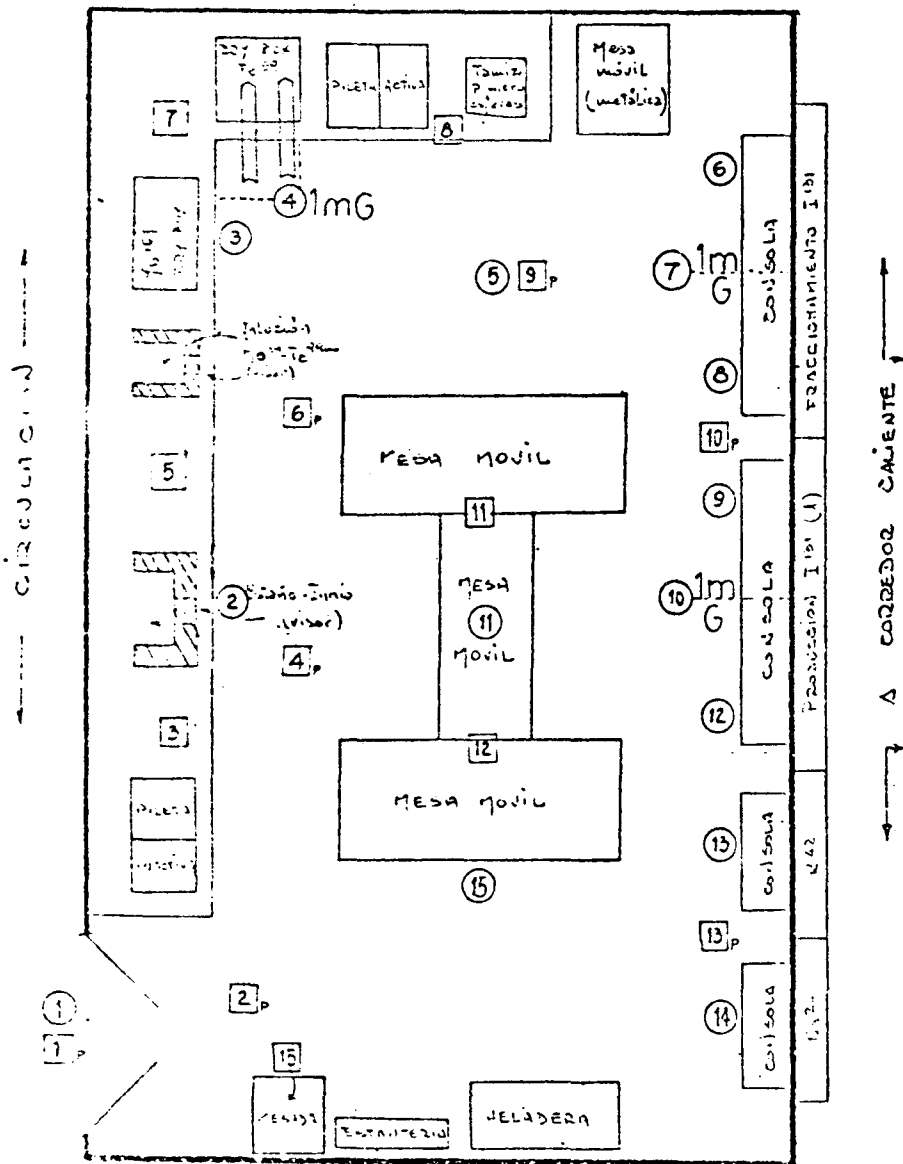
TASA de DOSIS

CONTAMINACION SUPERFICIAL



1
W
00
1

PLANTA de PRODUCCION (C.A.E.) Lab. 28....
(PRODUCCION Y FRAC. I 131, Fe 59, U 235, U 238, Yb 169)



[illegible]

PLANTA DE PRODUCCION DE RADIOISOTOPOS C.A.E.

PUNTOS DE MONITORAJE LABORATORIO N°

MEDICION DE TASAS DE DOSIS EN:

	FECHAS					
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

ANEXO Nº 1
NORMAS BÁSICAS DE
SEGURIDAD RADIOLOGICA

1. Alcance y Objeto

1.1. Las normas a las que se refiere este Anexo se aplican a:

- a) Trabajadores expuestos como resultado de circunstancias impuestas por su ocupación.
- b) Miembros individuales del público.

1.2. Las dosis a las que se hace referencia en estas normas incluyen las dosis recibidas por irradiación interna y/o externa. Se excluye específicamente de las mismas a:

- a) Las dosis recibidas por las personas indicadas en 1.1. cuando como pacientes deban ser objeto de exámenes o tratamientos médicos que involucren el uso de radiaciones ionizantes.
- b) Las dosis resultantes del fondo natural de radiación.

1.3. El objeto de las normas contenidas en este Anexo es el de mantener bajo control los riesgos debidos al uso de radiaciones ionizantes.

2.- Dosis Máximas Permisibles Debidas a Fuentes Controladas

2.1. Exposición ocupacional

2.1.1. Los límites máximos permisibles en condiciones normales de trabajo son:

1) Para irradiación externa:

- a) uniforme de todo el cuerpo, o en particular de gonadas y órganos hematopoyéticos 5 rem/año
- b) de piel, tiroides y huesos 30 rem/año
- c) de manos, antebrazos, pies y tobillos 75 rem/año
- d) de cualquier otro órgano 15 rem/año

2) Para irradiación interna:

Los valores de incorporación máximos permisibles anuales, son los indicados en la Tabla Nº 1.

Si se tratara de la incorporación de una mezcla de radionucleídos en proporciones conocidas deberá cumplirse que la suma de las fracciones de las cantidades incorporadas respecto de los valores correspondientes indicados en la Tabla Nº 1 sea igual o menor que uno.

Si se tratara de mezcla de radionucleídos determinadas en proporciones desconocidas, el máximo permisible para la mezcla será el correspondiente al radionucleído integrante de la mezcla de menor valor permisible de incorporación.

2.1.2. Sin perjuicio del cumplimiento de los puntos 1 a) y II del párrafo 2.1.1., y a menos de lo indicado en 2.1.3., podrá aceptarse que en un trimestre calendario el personal reciba una dosis de hasta 3 rem, o incorpore material radiactivo en cantidad de hasta la mitad de los límites anuales fijados.

2.1.3. Para el personal femenino, la irradiación externa a que se refiere el punto 1 a) del párrafo 2.1.1. estará limitada a 1,25 rem por trimestre calendario y la incorporación de material radiactivo en ese período, a la cuarta parte de los límites anuales fijados en el punto II de dicho párrafo. Toda mujer en estado de gravidez deberá notificarlo, mediante certificación médica, al Departamento Medicina Radiosanitaria (Gerencia de Seguridad e Inspección). A partir de ese momento y hasta el alumbramiento, la dosis total en el feto no deberá ser superior a 1 rem.

2.1.4. No se admita la exposición ocupacional de personas menores de 18 años.

2.1.5. En los casos de "exposiciones especiales planificadas", y respetando lo indicado en 2.1.7. y 2.1.8., podrá permitirse a pocos y determinados trabajadores la absorción de una dosis de radiación externa o la incorporación de material radiactivo, tales que no se exceda en un solo evento del doble de los máximos permisibles anuales. Durante todo el tiempo de su trabajo con radiaciones, las dosis debidas a estas "exposiciones especiales planificadas" no deberán exceder de cinco veces los límites permisibles anuales.

2.1.6. Las "exposiciones especiales planificadas" sólo serán permitidas a aquellos trabajadores que cumplan los siguientes requisitos:

- a) que las dosis en gonadas y órganos hematopoyéticos implicada en dichas tareas, sumada a la acumulada desde el comienzo de su ocupación, sea menor que la resultante de aplicar la fórmula $D = 5(E-18)$ rem, donde E es la edad del individuo expresada en años.

142

- b) que en los 12 meses precedentes no haya sufrido una exposición única o la incorporación de material radiactivo en valores superiores a los límites trimestrales.
- c) que no haya estado sometidos en cualquier fecha anterior a exposiciones anormales (ver párrafo 3.1.1. u 3.2.2.) superiores a cinco veces los límites anuales fijados en 2.1.1.

2.1.7. Las "exposiciones especiales planificadas" no podrán ser encomendadas a personal femenino.

2.1.8. Si no obstante la previa planificación, circunstancias fortuitas determinasen para las personas involucradas dosis o incorporaciones mayores que los valores límites fijados en 2.1.5. pero inferiores a 25 rem, ello no implicará necesariamente su separación de las tareas habituales, quedando la decisión correspondiente a cargo conjunto del "oficial médico" y el "oficial de seguridad"

2.1.9. En el caso de no conocerse la historia previa de irradiación de un individuo, la aplicación de la fórmula mencionada en 2.1.6. se realizará aceptando que el trabajador ha recibido 5 rem durante cada año de su trabajo con radiaciones.

2.1.10. A los efectos de la aplicación de los párrafos 2.1.1. a 2.1.9. no se tendrán en cuenta las exposiciones que sufra el trabajador como miembro del público.

2.2. Exposición de los miembros del público

Los valores límites anuales para los miembros del público a ser observados en el diseño de las instalaciones y en las operaciones de monitoreo exterior de las mismas son:

1) Para irradiación externa:

- a) uniforme de todo el cuerpo, o en particular de gonadas y órganos hematopoyéticos 0,5 rem/año
- b) de piel, tiroides y huesos 3,0 rem/año
- c) de manos, antebrazos, pies y tobillos 7,5 rem/año
- d) de cualquier otro órgano 1,5 rem/año

2) Para irradiación interna:

Los valores límites anuales de ingestión e inhalación de material radiactivo son los indicados en la Tabla Nº 2.

Para la incorporación de mezclas de radionucleidos se seguirá un criterio similar al establecido en 2.1.1. (II).

3.- Exposición en Situaciones Anormales

3.1. Exposición profesional en situaciones de emergencia

3.1.1. En operaciones de emergencia, durante o inmediatamente después de un accidente, podrán aceptarse dosis mayores que las establecidas en 2.1.1., 2.1.2. y 2.1.5. Dichas operaciones solamente podrán ser justificadas si se trata del rescate de individuos, la prevención de una fuerte irradiación de gran número de personas o la puesta a salvo de instalaciones muy valiosas.

3.1.2. Las tareas a cumplir en operaciones de emergencia serán voluntarias cuando la dosis total estimada a recibir durante su realización exceda de 10 rem.

3.1.3. Previamente a la ejecución de la operación, el voluntario deberá ser informado acerca de todos los riesgos que ella implica.

3.1.4. Cumplida la operación de emergencia se estimará del modo más aproximado posible la dosis y/o la incorporación de material radiactivo sufrida por el voluntario. Si la dosis recibida es menor de 25 rem o la incorporación menor que 5 veces los valores límites indicados en la Tabla Nº 1, el trabajador podrá continuar con sus tareas habituales. En caso contrario el Presidente del Directorio de la CNEA, con asesoramiento de la Gerencia de Seguridad e Inspección decidirá si dicho trabajador podrá continuar afectado a tareas con radiaciones ionizantes.

3.1.5. La participación de un mismo trabajador en más de una emergencia deberá ser objeto en todos los casos de especial autorización por parte del oficial de seguridad.

3.1.6. Las mujeres no serán aceptadas como voluntarias en tareas de emergencia.